

PCT/JP2004/014143

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

21. 9. 2004

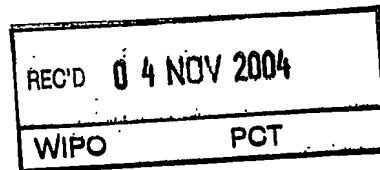
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 0 月 2 3 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 6 2 7 1 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 6 2 7 1 7]

出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):

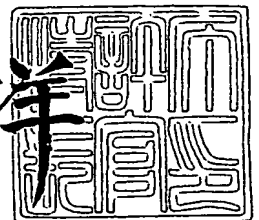


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 2 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 2926450057
【提出日】 平成15年10月23日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 21/027
G03F 7/20

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 三坂 章夫

【特許出願人】
【識別番号】 000005821
【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】
【識別番号】 100077931
【弁理士】
【氏名又は名称】 前田 弘

【選任した代理人】
【識別番号】 100094134
【弁理士】
【氏名又は名称】 小山 廣毅

【選任した代理人】
【識別番号】 100110939
【弁理士】
【氏名又は名称】 竹内 宏

【選任した代理人】
【識別番号】 100113262
【弁理士】
【氏名又は名称】 竹内 祐二

【選任した代理人】
【識別番号】 100115059
【弁理士】
【氏名又は名称】 今江 克実

【選任した代理人】
【識別番号】 100117710
【弁理士】
【氏名又は名称】 原田 智雄

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 014409
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0217869

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

透過性基板上に形成されたマスクパターンと、前記透過性基板における前記マスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、

前記マスクパターンは、前記透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造をそれぞれ持つ第 1 パターン及び第 2 パターンを有し、

前記第 1 パターンは、前記透光部を挟んで所定の寸法以下の距離で、前記マスクパターンのうちの第 3 パターンと近接しており、

前記第 1 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、前記第 2 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅よりも小さいことを特徴とするフォトマスク。

【請求項 2】

前記第 2 パターンは、他のパターンから前記所定の寸法よりも遠く離れていることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 3】

前記第 3 パターンは、前記マスクエンハンサー構造を持つか又は遮光部よりなることを特徴とする請求項 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 4】

前記第 3 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていることを特徴とする請求項 3 に記載のフォトマスク。

【請求項 5】

前記第 2 パターンは、前記透光部を挟んで前記所定の寸法以下の距離で、前記マスクパターンのうちの第 4 のパターンと近接しており、

前記第 2 パターンと前記第 4 パターンとの間の距離は、前記第 1 パターンと前記第 3 パターンとの間の距離よりも大きいことを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 6】

前記第 3 パターン及び前記第 4 パターンは、前記マスクエンハンサー構造を持つか又は遮光部よりなることを特徴とする請求項 5 に記載のフォトマスク。

【請求項 7】

前記第 3 パターン及び前記第 4 パターンのそれぞれにおける前記マスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていることを特徴とする請求項 6 に記載のフォトマスク。

【請求項 8】

前記第 2 パターンは、前記透光部を挟んで、前記第 1 パターンと前記第 3 パターンとの間の距離と同等の距離で、前記マスクパターンのうちの第 5 のパターンと近接しており、

前記第 3 パターンは前記マスクエンハンサー構造を持ち、

前記第 5 パターンは遮光部よりなることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 9】

前記第 3 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載のフォトマスク。

【請求項 10】

前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとは接続しており、それによって 1 つの連続パターンが構成されていることを特徴とする請求項 1～9 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 11】

前期所定の寸法は $(\lambda / NA) \times M$ 以下であることを特徴とする請求項 1～10 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク（但し、 λ は前記露光光の波長であり、 M 及び NA は露光

機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数である)。

【請求項 12】

前記第 1 パターン及び前記第 2 パターンのそれぞれの幅は $(0.8 \times \lambda / \text{NA}) \times M$ 以下であることを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク (但し、 λ は前記露光光の波長であり、 M 及び NA は露光機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数である)。

【請求項 13】

前記第 1 パターンの幅と前記第 2 パターンの幅との差は $(0.2 \times \lambda / \text{NA}) \times M$ 以下であることを特徴とする請求項 12 に記載のフォトマスク。

【請求項 14】

前記第 1 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅の前記第 1 パターンの幅に対する比は、前記第 2 パターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅の前記第 2 パターンの幅に対する比よりも小さいことを特徴とする請求項 13 に記載のフォトマスク。

【請求項 15】

前記第 1 パターン及び前記第 2 パターンのそれぞれにおける前記マスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、前記透光部を基準として前記露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていることを特徴とする請求項 1～14 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 16】

前記半遮光部は、前記透光部を基準として前記露光光を $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差で透過させることを特徴とする請求項 15 に記載のフォトマスク (但し n は整数)。

【請求項 17】

前記半遮光部は、厚さ 30 nm 以下の金属薄膜よりなることを特徴とする請求項 15 又は 16 に記載のフォトマスク。

【請求項 18】

前記第 1 パターン及び前記第 2 パターンのそれぞれにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフターは、前記透光部を基準として前記露光光を $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下の位相差で透過させることを特徴とする請求項 1～17 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク (但し n は整数)。

【請求項 19】

前記第 1 パターン及び前記第 2 パターンのそれぞれにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフターは、前記透過性基板を掘り下げることにより形成されていることを特徴とする請求項 1～18 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 20】

透過性基板上に形成されたマスクパターンと、前記透過性基板における前記マスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、

前記マスクパターンは、前記透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造を持つ一のパターンと、前記透光部を挟んで前記一のパターンと隣り合う他のパターンとを有し、

前記一のパターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、前記一のパターンと前記他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って小さく設定されることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 21】

透過性基板上に形成されたマスクパターンと、前記透過性基板における前記マスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、

前記マスクパターンは、前記透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造を持つ一のパターンと、前記透光部を挟んで前記一のパターンと隣り合う他のパターンとを有し、

前記一のパターンにおける前記マスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、前記他のパターンが遮光部よりなる場合と比べて、前記他のパターンが前記マスクエンハンサー構造を持つ場合に、より小さく設定されることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 2 2】

請求項 1～2 1 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用いたパターン形成方法であって、

基板上にレジスト膜を形成する工程と、

前記レジスト膜に前記フォトマスクを介して前記露光光を照射する工程と、

前記露光光を照射された前記レジスト膜を現像してレジストパターンを形成する工程とを備えていることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 2 3】

前記露光光を照射する工程で斜入射照明法を用いることを特徴とする請求項 2 2 に記載のパターン形成方法。

【請求項 2 4】

透過性基板上に形成されたマスクパターンと、前記透過性基板における前記マスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクのマスクデータ作成方法であって、

前記フォトマスクを介して露光光をレジストに照射することによって形成される前記レジストの所望の非感光領域と対応するパターンを作成する工程と、

前記パターンの内部に配置され且つ前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相シフターの形状を決定する工程と、

前記パターンと前記透光部を挟んで近接する他のパターンから前記パターンまでの距離に基づいて、前記位相シフターの幅を調整する工程と、

前記パターンにおける前記透光部との境界となるエッジを CD 調整用エッジに設定する工程と、

シミュレーションを用いて、前記位相シフターが配置された前記パターンにより形成されるレジストパターンの寸法を予測する工程と、

前記予測されたレジストパターンの寸法が所望の寸法と一致しない場合、前記 CD 調整用エッジを移動させることにより前記パターンの変形を行なう工程とを備えていることを特徴とするマスクデータ作成方法。

【請求項 2 5】

前記パターンは、前記透光部を基準として露光光を同位相で透過させる半遮光部を有することを特徴とする請求項 2 4 に記載のマスクデータ作成方法。

【請求項 2 6】

前記位相シフターの形状を決定する工程は、

前記位相シフターの幅として、少なくとも 2 つ以上の異なる幅を設定する工程と、

前記パターンが所定の幅以下の細い幅を持つ場合における前記位相シフターの幅を、前記パターンが前記所定の幅を越える幅を持つ場合における前記位相シフターの幅よりも大きく設定する工程とを含むことを特徴とする請求項 2 4 又は 2 5 に記載のマスクデータ作成方法。

【請求項 2 7】

前記位相シフターの幅を調整する工程は、

前記位相シフターの幅として、少なくとも 2 つ以上の異なる幅を設定する工程と、

前記パターンが所定の寸法以下の距離で前記他のパターンと近接する場合における前記位相シフターの幅を、前記パターンが前記他のパターンから前記所定の寸法よりも遠く離れている場合における前記位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含むことを特徴とする請求項 2 4～2 6 のいずれか 1 項に記載のマスクデータ作成方法。

【請求項 2 8】

前記位相シフターの幅を調整する工程は、

前記位相シフターの幅として、少なくとも 2 つ以上の異なる幅を設定する工程と、

前記パターンが所定の寸法以下の距離で前記他のパターンと近接すると共に前記他のパターンに他の位相シフターが配置される場合における前記位相シフターの幅を、前記パターンが前記所定の寸法以下の距離で前記他のパターンと近接すると共に前記他のパターンに他の位相シフターが配置されない場合における前記位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含むことを特徴とする請求項 24～27 のいずれか 1 項に記載のマスクデータ作成方法。

【請求項 29】

前記他のパターンは、前記パターンの両側にそれぞれ近接する 2 つのパターンであり、
前記位相シフターの幅を調整する工程は、
前記位相シフターの幅として、少なくとも 2 つ以上の異なる幅を設定する工程と、
前記パターンの両側に近接する前記各他のパターンのそれぞれから前記パターンまでの距離 S_1 及び S_2 を求める工程と、

$(S_1 + S_2) / 2$ が所定の値以下となる場合における前記位相シフターの幅を、
 $(S_1 + S_2) / 2$ が前記所定の値よりも大きくなる場合における前記位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含むことを特徴とする請求項 24～28 のいずれか 1 項に記載のマスクデータ作成方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】 フォトマスク、そのフォトマスクを用いたパターン形成方法及びマスクデータ作成方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体集積回路装置等の製造に用いられる微細パターン形成用のフォトマスク及びその設計方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体を用いて実現する大規模集積回路装置（以下、LSIと称する）の高集積化のために、回路パターンの微細化がますます必要となってきた。その結果、回路を構成する配線パターンの細線化が非常に重要となってきた。

【0003】

以下、従来の光露光システムによる配線パターンの細線化について、ポジ型レジストプロセスを用いる場合を例として説明する。ここで、ラインパターンとは、レジスト膜における露光光によって感光されない部分、つまり現像後に残存するレジスト部分（レジストパターン）である。また、スペースパターンとは、レジスト膜における露光光によって感光される部分、つまり現像によりレジストが除去されてなる開口部分（レジスト除去パターン）である。尚、ポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いる場合、前述のラインパターン及びスペースパターンのそれぞれの定義を入れ替えればよい。

【0004】

従来、光露光システムを用いてパターン形成を行なう場合、石英等からなる透明な基板（透過性基板）上にCr（クロム）等からなる完全遮光パターンが所望のパターンと対応するように描かれたフォトマスクを用いていた。このような、フォトマスクにおいては、Crパターンが存在する領域は、ある波長の露光光を全く透過させない（実質的に透過率0%の）遮光部となる一方、Crパターンが存在しない領域（開口部）は、前述の露光光に対して透過性基板と同等の透過率（実質的に100%の透過率）を持つ透光部となる。そして、このフォトマスクを用いて、レジストが塗布されたウェハの露光を行なった場合、遮光部はレジストの非感光部と対応すると共に開口部（透光部）はレジストの感光部と対応する。従って、このようなフォトマスク、つまり、ある波長の露光光に対しての遮光部及び透光部から構成されるフォトマスクはバイナリーマスクと呼ばれる。

【0005】

しかしながら、前述のバイナリーマスクを用いて露光波長（露光光の波長）以下の微細パターンの形成を行なうことは、光の回折現象によって困難である。そこで、近年、光の位相を反転させる機能を有したマスクパターン、つまり位相シフターが設けられたフォトマスクが利用されるようになってきた。さらには、微細パターン形成におけるコントラスト及びDOF（depth of focus）を大幅に向上させるフォトマスクとして、本願発明者により見出されたマスクエンハンサー構造を持つマスク（イメージ強調マスク）を用いることによってパターン形成を行なう方法もある。マスクエンハンサー構造は、基本的には、位相シフターとCrパターン等の遮光性パターンとから構成される（例えば特許文献1参照）。

【0006】

図17（a）はイメージ強調マスクの平面構成の一例を示しており、図17（b）は、図17（a）に示すマスクに対して露光を行なった際に被露光材料上における線分AA'と対応する位置に形成される光の振幅強度を示している。

【0007】

図17（a）及び（b）に示すように、イメージ強調マスクにおいては、Cr膜等の遮光膜よりなるパターン（遮光部）の内部に、透光性の位相シフターが設けられており、それによって、露光時に形成される光強度分布のコントラストを強調することができる。

【0008】

ところで、図17(a)に示すイメージ強調マスクは、図17(c)に示す、遮光部(遮光パターン)が透光部に囲まれたマスクと、図17(d)に示す、位相シフターが遮光部に囲まれたマスクとが組み合わされたものである。尚、図17(e)は、図17(c)及び図17(d)のそれぞれに示すマスクに対して露光を行なった際に被露光材料上における線分A A'と対応する位置に形成される光の振幅強度を示している。

【0009】

図17(c)及び(e)に示すように、ライン状の遮光部(具体的にはCrパターン)が単独に存在するマスクを用いた場合に形成される光強度分布においては、Crパターンの線幅が狭くなるに従って、Crパターン周辺からの光の回り込みによって、Crパターン中心(つまりマスクパターン中心)での光強度が増加する。すなわち、遮光パターンであるにも関わらず、光を十分に遮光できなくなる。よって、十分な遮光性を実現できないため、光強度分布のコントラストが低くなる。

【0010】

一方、図17(d)及び(e)に示すように、透光部を基準として反対位相の光を透過させる位相シフターを用いた場合、この位相シフターを透過する光と、透光部を透過する光とを干渉させることができれば、それらの光は互いに打ち消しあうことになる。よって、Cr膜によって十分に光を遮光することができない線幅のパターンについては、そのCrパターンの内部に透過性の位相シフターを形成することにより、位相シフターを透過した光と、Crパターン周辺の透光部を透過してCrパターンの裏側に回り込んだ光とを干渉させることが可能となる結果、非常に遮光性の高いマスクパターンを実現できる。このように、遮光性のマスクパターンの内部に、透光部を透過した光を打ち消すための位相シフターを設けた構造をマスクエンハンサー構造と呼ぶ。

【0011】

尚、以上の説明において、マスクエンハンサー構造がCr膜等の遮光膜と位相シフターとから構成されるものとして説明してきたが、マスクエンハンサー構造において遮光膜を半遮光膜に置き換えても同様の効果が得られる。半遮光膜は光を部分的に透過させるものであって、半遮光膜を透過する光と透光部を透過する光とは同位相の関係にある。

【0012】

また、マスクエンハンサー構造を持つマスクを用いたパターン形成においては、Cr幅と位相シフター幅との組み合わせによって、光強度分布のコントラストが増加したり減少したりすると共にプロセスマージンも増加したり減少したりする。前述の特許文献1には、孤立パターン形成におけるプロセスマージンを増加させる方法として、太いCrパターン内に細い位相シフターを設け、且つ細いCrパターン内に太い位相シフターを設けることが開示されている。

【特許文献1】特許協力条約に基づいて公開された国際出願PCT/JP00/07772 (

国際公開番号 WO 01/35166 A1)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

前述のように、孤立パターンのみを有するフォトマスクにマスクエンハンサー構造を適用する場合、太いCrパターン内に細い位相シフターを設け、且つ細いCrパターン内に太い位相シフターを設けることによって、高いプロセスマージンを実現できる。しかしながら、孤立パターンのみではなく、任意のパターン配置が混在した複雑なパターンを有するフォトマスクにマスクエンハンサー構造を適用する場合、Crパターン幅に応じて位相シフター幅を変えろという単純な方法によって、プロセスマージンの向上効果を十分に得ることはできない。

【0014】

前記に鑑み、本発明は、任意のパターン配置が混在した複雑なパターンを有するフォトマスクにマスクエンハンサー構造を適用する場合にも、プロセスマージンの向上効果が十分に得られるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

マスクエンハンサー構造の適用対象となるパターンの周囲に該パターンに近接する他のパターンが存在する状況においては、プロセスマージンを増加させるための条件は複雑になる。なぜなら、通常のバイナリーマスクにおいても、着目するパターンに対して近接する他のパターンが存在する場合には、近接する他のパターンを考慮してマスク寸法やマスク形状を変化させなければならない。通常、このような操作を行なうことをOPC (optical proximity correction) と呼ばれる。従って、マスクエンハンサー構造を有するパターンの線幅のみに基づいて該パターンの構成を決定するという単純な方法によって、任意のパターン配置が混在した複雑なパターンを有するフォトマスクによる露光においてプロセスマージンを向上させることは困難である。

【0016】

そこで、本願発明者は、マスクエンハンサー構造の適用対象となるパターンの周囲に該パターンに近接する他のパターンが存在する状況においてもプロセスマージンを増加させることができるマスク構成について種々の検討を行なった。その結果、近接する他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って、マスクエンハンサー構造を有するパターンにおける位相シフター幅を小さくするというマスク構成によって、任意のパターン配置が混在した複雑なパターンの場合にもプロセスマージンが向上することが判明した。

【0017】

本発明は、以上の知見に基づきなされたものであって、具体的には、本発明に係る第1のフォトマスクは、透過性基板上に形成されたマスクパターンと、透過性基板におけるマスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、マスクパターンは、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造をそれぞれ持つ第1パターン及び第2パターンを有し、第1パターンは、透光部を挟んで所定の寸法以下の距離で、マスクパターンのうちの第3パターンと近接しており、第1パターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、第2パターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅よりも小さい。

【0018】

第1のフォトマスクによると、所定の寸法以下の距離で他のパターン（第3パターン）と近接する第1パターンのマスクエンハンサー構造において、位相シフター幅を相対的に小さくする。このため、近接する他のパターンの存在によって、第1パターンの周辺の透光部から第1パターンの裏側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、第1パターンの内部（位相シフター）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、第1パターンの遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0019】

尚、第1のフォトマスクにおいて、第1及び第2パターンはそれぞれ例えばラインパターンであり、該ラインパターンと同一の外形形状を有する遮光部と、該遮光部の内部に設けられた位相シフター（ライン状）とから構成されている。また、例えば第1パターンがラインパターンである場合には、第1パターンのライン方向に対して垂直な方向に第3パターンが存在していてもよい。

【0020】

第1のフォトマスクにおいて、第2パターンは、他のパターンから所定の寸法よりも遠く離れていてもよい。或いは、第2パターンは孤立していてもよい。すなわち、例えば第

2パターンがラインパターンである場合には、第2パターンのライン方向に対して垂直な方向に他のパターンが存在していなくてもよい。ここで、第3パターンは、マスクエンハンサー構造を持つか又は遮光部よりなる。但し、第3パターンにおけるマスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、透光部を基準として露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていてもよい。

【0021】

第1のフォトマスクにおいて、第2パターンは、透光部を挟んで所定の寸法以下の距離で、マスクパターンのうちの第4のパターンと近接しており、第2パターンと第4パターンとの間の距離は、第1パターンと第3パターンとの間の距離よりも大きくてもよい。ここで、第3パターン及び第4パターンは、マスクエンハンサー構造を持つか又は遮光部よりなる。但し、第3パターン及び第4パターンのそれぞれにおけるマスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、透光部を基準として露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていてもよい。

【0022】

第1のフォトマスクにおいて、第2パターンは、透光部を挟んで、第1パターンと第3パターンとの間の距離と同等（略同等を含む）の距離で、マスクパターンのうちの第5のパターンと近接しており、第3パターンはマスクエンハンサー構造を持ち、第5パターンは遮光部より構成されていてもよい。ここで、第3パターンにおけるマスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、透光部を基準として露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていてもよい。

【0023】

第1のフォトマスクにおいて、第1パターンと第2パターンとは接続しており、それによって1つの連続パターンが構成されていてもよい。例えば第1及び第2パターンがラインパターンである場合、ライン方向に沿って第1及び第2パターンが接続してもよい。

【0024】

第1のフォトマスクにおいて、所定の寸法が $(\lambda/NA) \times M$ （但し、 λ は露光光の波長であり、 M 及び NA は露光機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数である）以下であると、前述の効果が確実に得られる。

【0025】

第1のフォトマスクにおいて、第1パターン及び第2パターンのそれぞれの幅が $(0.8 \times \lambda/NA) \times M$ （但し、 λ は露光光の波長であり、 M 及び NA は露光機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数である）以下であると、前述の効果が確実に得られる。ここで、第1パターン及び第2パターンのそれぞれを被露光材料に転写することによって形成しようとする所望のパターン（例えばレジストパターン）のそれぞれの幅が同じである場合でも、第1パターンの幅と第2パターンの幅とは必ずしも同じでなくてもよい。但し、第1パターンの幅と第2パターンの幅との差は $(0.2 \times \lambda/NA) \times M$ 以下であることが好ましい。このようにすると、第1パターン及び第2パターンに同じ幅の位相シフターを設けた場合にも、各パターンに対する露光において十分なコントラストが得られる。この場合、第1パターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅の第1パターンの幅に対する比が、第2パターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅の第2パターンの幅に対する比よりも小さくてもよい。

【0026】

第1のフォトマスクにおいて、第1パターン及び第2パターンのそれぞれにおけるマスクエンハンサー構造の遮光部に代えて、透光部を基準として露光光を同位相で且つ部分的に透過させる半遮光部が設けられていてもよい。ここで、半遮光部は、透光部を基準として露光光を $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差で透過させる。すなわち、本明細書において、同位相とは、 $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差を意味する。また、半遮光部は、例えば厚さ 30 nm 以下の金属薄膜よりなる。

【0027】

第1のフォトマスクにおいて、第1パターン及び第2パターンのそれぞれにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフターは、透光部を基準として露光光を $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下の位相差で透過させる。すなわち、本明細書において、反対位相とは、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下の位相差を意味する。

【0028】

第1のフォトマスクにおいて、第1パターン及び第2パターンのそれぞれにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフターは、透過性基板を掘り下げることにより形成されていることが好ましい。

【0029】

このようにすると、位相シフターの透過率として、透過性基板（透光部）と同等の透過率（実質的に100%の透過率）を実現できる。

【0030】

本発明に係る第2のフォトマスクは、透過性基板上に形成されたマスクパターンと、透過性基板におけるマスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、マスクパターンは、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造を持つ一のパターンと、透光部を挟んで一のパターンと隣り合う他のパターンとを有し、一のパターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、一のパターンと他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って小さく設定される。

【0031】

第2のフォトマスクによると、隣り合う他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って、マスクエンハンサー構造を有する一のパターンにおける位相シフター幅を小さくする。このため、隣り合う他のパターンの存在によって、一のパターンの周辺の透光部から一のパターンの裏側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、一のパターンの内部（位相シフター）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、一のパターンの遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0032】

本発明に係る第3のフォトマスクは、透過性基板上に形成されたマスクパターンと、透過性基板におけるマスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクであって、マスクパターンは、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターと該位相シフターを囲む遮光部とからなるマスクエンハンサー構造を持つ一のパターンと、透光部を挟んで一のパターンと隣り合う他のパターンとを有し、一のパターンにおけるマスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、他のパターンが遮光部よりなる場合と比べて、他のパターンがマスクエンハンサー構造を持つ場合に、より小さく設定される。

【0033】

第3のフォトマスクによると、隣り合う他のパターンが遮光部よりなる場合と比べて、該他のパターンがマスクエンハンサー構造を持つ場合に、マスクエンハンサー構造を有する一のパターンにおける位相シフター幅をより小さくする。すなわち、他のパターンの遮光性が高くなるに従って、一のパターンにおける位相シフター幅を小さくする。このため、隣り合う他のパターンの存在によって、一のパターンの周辺の透光部から一のパターンの裏側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、一のパターンの内部（位相シフター）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、一のパターンの遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージ

ンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を、隣り合う他のパターンの遮光性に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0034】

本発明に係るパターン形成方法は、本発明の各フォトマスクを用いたパターン形成方法を前提とし、基板上にレジスト膜を形成する工程と、レジスト膜に本発明のフォトマスクを介して露光光を照射する工程と、露光光を照射されたレジスト膜を現像してレジストパターンを形成する工程とを備えている。

【0035】

本発明のパターン形成方法によると、本発明の各フォトマスクと同様の効果が得られる。また、本発明のパターン形成方法において、露光光を照射する工程で斜入射照明法を用いることが好ましい。このようにすると、フォトマスクを透過した光の光強度分布において、マスクパターン及び透光部のそれぞれと対応する部分の間でのコントラストが向上する。また、光強度分布のフォーカス特性も向上する。従って、パターン形成における露光マージン及びフォーカスマージンが向上する。言い換えると、デフォーカス特性に優れた微細パターン形成が可能となる。さらには、フォトマスク上においてマスクエンハンサー構造を持つパターン同士が近接する場合にも、露光時における各パターンのコントラストが大きく向上する。

【0036】

本発明に係るマスクデータ作成方法は、透過性基板上に形成されたマスクパターンと、透過性基板におけるマスクパターンが形成されていない透光部とを有するフォトマスクのマスクデータ作成方法であって、フォトマスクを介して露光光をレジストに照射することによって形成されるレジストの所望の非感光領域と対応するパターンを作成する工程と、パターンの内部に配置され且つ透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフターの形状を決定する工程と、パターンと透光部を挟んで近接する他のパターンからパターンまでの距離に基づいて、位相シフターの幅を調整する工程と、パターンにおける透光部との境界となるエッジをCD調整用エッジに設定する工程と、シミュレーションを用いて、位相シフターが配置されたパターンにより形成されるレジストパターンの寸法を予測する工程と、予測されたレジストパターンの寸法が所望の寸法と一致しない場合、CD調整用エッジを移動させることによりパターンの変形を行なう工程とを備えている。

【0037】

本発明のマスクデータ作成方法によると、近接する他のパターンから、マスクエンハンサー構造を有するパターン（対象パターン）までの距離に基づいて、マスクエンハンサー構造の位相シフターの幅を調整する。このため、例えば、他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って位相シフター幅を小さくすることにより、他のパターンの存在によって、対象パターンの周辺の透光部から対象パターンの裏側に回り込んでくる光（透光部と同一位相の光）が減少する程度に応じて、対象パターンの内部（位相シフター）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、対象パターンの遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0038】

本発明のマスクデータ作成方法において、パターンは、透光部を基準として露光光を同

位相で透過させる半遮光部を有していてもよい。

【0039】

本発明のマスクデータ作成方法において、位相シフターの形状を決定する工程は、位相シフターの幅として、少なくとも2つ以上の異なる幅を設定する工程と、パターンが所定の幅以下の細い幅を持つ場合における位相シフターの幅を、パターンが所定の幅を越える幅を持つ場合における位相シフターの幅よりも大きく設定する工程とを含むことが好ましい。

【0040】

このようにすると、孤立パターン形成におけるプロセスマージンを増加させることができる。

【0041】

本発明のマスクデータ作成方法において、位相シフターの幅を調整する工程は、位相シフターの幅として、少なくとも2つ以上の異なる幅を設定する工程と、パターンが所定の寸法以下の距離で他のパターンと近接する場合における位相シフターの幅を、パターンが他のパターンから所定の寸法よりも遠く離れている場合における位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含むことが好ましい。

【0042】

このようにすると、本発明のマスクデータ作成方法による前述の効果を確実に得ることができる。

【0043】

本発明のマスクデータ作成方法において、位相シフターの幅を調整する工程は、位相シフターの幅として、少なくとも2つ以上の異なる幅を設定する工程と、パターンが所定の寸法以下の距離で他のパターンと近接すると共に他のパターンに他の位相シフターが配置される場合における位相シフターの幅を、パターンが所定の寸法以下の距離で他のパターンと近接すると共に他のパターンに他の位相シフターが配置されない場合における位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含むことが好ましい。

【0044】

このようにすると、他のパターンの遮光性が高くなるに従って、対象パターンにおける位相シフター幅を小さくするため、他のパターンの存在によって、対象パターンの裏側に回り込んでくる光（同位相の光）が減少する程度に応じて、対象パターンの内部（位相シフター）を透過する光（反対位相の光）を減少させることができる。従って、本発明のマスクデータ作成方法による前述の効果を確実に得ることができる。

【0045】

本発明のマスクデータ作成方法において、他のパターンは、パターンの両側にそれぞれ近接する2つのパターンであり、位相シフターの幅を調整する工程は、位相シフターの幅として、少なくとも2つ以上の異なる幅を設定する工程と、パターンの両側に近接する各他のパターンのそれぞれからパターンまでの距離 S_1 及び S_2 を求める工程と、 $(S_1 + S_2) / 2$ が所定の値以下となる場合における位相シフターの幅を、 $(S_1 + S_2) / 2$ が所定の値よりも大きくなる場合における位相シフターの幅よりも小さく設定する工程とを含んでいてもよい。この場合にも、本発明のマスクデータ作成方法による前述の効果を確実に得ることができる。

【発明の効果】

【0046】

本発明によると、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造を用いることによって、光強度分布のコントラストの強調効果やプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を、各パターン間の近接関係や隣接パターンの遮光性に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0047】

(前提事項)

まず、本発明の各実施形態を説明するに当たっての前提事項について説明する。

【0048】

通常、フォトリソグラフィは縮小投影型の露光機で利用されるため、マスク上のパターン寸法を議論する場合には縮小倍率を考慮しなければならない。しかし、以下の各実施形態を説明する際には、混乱を避けるため、形成しようとする所望のパターン（例えばレジストパターン）と対応させてマスク上のパターン寸法を説明する場合、特に断らない限り縮小倍率により該寸法を換算した値を用いている。具体的には、M分の1縮小投影システムにおいて、幅 $M \times 100 \text{ nm}$ のマスクパターンによって幅 100 nm のレジストパターンを形成する場合にも、マスクパターン幅及びレジストパターン幅は共に 100 nm であると表記する。

【0049】

また、本発明の各実施形態においては、特に断らない限り、M及びNAは露光機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数をそれぞれ表し、 λ は露光光の波長を表すものとする。

【0050】

また、パターン形成においては遮光領域にレジストパターンが形成されるポジレジストプロセスを仮定して説明する。ネガレジストプロセスにおいては、遮光領域のレジストが除去されるプロセスとなるので、ポジレジストプロセスにおけるレジストパターンをスペースパターンと読み替えばよい。

【0051】

また、フォトリソグラフィとしては透過型マスクを前提として説明する。反射型マスクにおいては、透過領域が反射領域となり、遮光領域が非反射領域となるので、透過現象を反射現象と読み替えばよい。具体的には、透光部及び透過性領域をそれぞれ反射部及び反射領域と読み替え、遮光部を非反射部と読み替えばよい。さらに、部分的に光を透過する領域は部分的に光を反射する領域と読み替えると共に、透過率は反射率と読み替える。

【0052】

(マスクエンハンサー)

次に、本発明の各実施形態の説明において登場するマスクエンハンサーについて簡単に説明する（詳しくは前述の特許文献1等を参照）。

【0053】

図1(a)はマスクエンハンサーを説明するための図（マスクエンハンサー構造を持つマスクパターンが設けられたフォトリソグラフィの平面図）であり、図1(b)及び(c)は図1(a)におけるI-I線の断面図のバリエーションである。尚、図1(a)において、透過性基板100については斜視図的に表している。

【0054】

図1(a)に示すように、透過性基板100の上には、露光によりウェハ上に所望のライン状のパターンを形成するためのマスクパターン（パターン111及び112）が描かれている。ここで、マスクパターンは、フォトリソグラフィに対して露光を行なうことによってウェハ上におけるマスクパターンと対応する位置に遮光領域を形成するための遮光性パターンである。また、透過性基板100におけるマスクパターンが形成されていない部分が透光部（開口部）である。

【0055】

マスクパターンとなるパターン111及び112は、遮光部101のみから構成されているか又は遮光部101と位相シフター102との組み合わせから構成されている。遮光部101つまり遮光膜は、例えばCr等の、光を殆ど透過させない遮光性材料から構成されている。一方、位相シフター102は光を透過させるが、位相シフター102を透過する光と透光部を透過する光とは反対位相の関係（具体的には両者の位相差が $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）となる関係）にある。以下の説明においては、特に断らない限り、単に位相シフターと呼ぶ場合、その透

過率は透光部と同等であるものとする。但し、位相シフター102の透過率は100%に限られるものではないが、位相シフター102は、最低でも20%以上、好ましくは50%以上の高い透過率を有することが好ましい。

【0056】

図1(a)に示すように、パターン111及び112はそれぞれ透過性基板100上に孤立して存在するパターンである。ここで、孤立して存在するとは、露光において他のパターンの影響を受けないという意味であり、具体的には、光学的に干渉の影響が無視できる距離である $2 \times \lambda / NA$ の距離以内に他のパターンが存在しないこと、つまりは他のパターンが近接していないことを意味する。

【0057】

また、図1(a)に示すように、パターン111は、所定寸法 W_0 に対して、 $W_w > W_0$ となる線幅 W_w の部分パターン111Aと、 $W_0 \geq L_1$ となる線幅 L_1 の部分パターン111Bとからなる。また、部分パターン111Bの中心部には、線幅 F_1 の位相シフター102が設けられている。すなわち、パターン111は、その外形を持つ遮光部101の領域と、遮光部101内の開口部に設けられた位相シフター102の領域とを持つ。さらに、図1(b)に示すように、遮光部101は遮光膜から構成されており、位相シフター102は、透過性基板100における該遮光膜の開口部の下側を掘り込むことによって形成できる。これは、透光部と同等の透過率を有する位相シフターを実現するための最も好ましい構造である。このような透過率が十分に高い位相シフターにより、パターン形成特性の良否を表す指標、つまり露光マージンや焦点深度等を大きく向上させることが可能になる。但し、遮光部101の中心部に位相シフター102を配置するための断面構成は、図1(b)に示す構成に限定されるものではない。以下、特に断らない限り、マスクパターンとなる各パターンにおける最も外側の領域（最外領域）は遮光部から構成されているものとし、各パターンの線幅とは、最外領域の遮光部の一端と透光部との境界から、最外領域の遮光部の他端と透光部との境界までの幅、つまりパターン全体の幅で定義されるものとする。

【0058】

ところで、一般に、回折現象によってマスクパターンを回り込む光が無視できなくなる寸法が $0.8 \times \lambda / NA$ 程度であることが経験的に知られている。よって、 $0.8 \times \lambda / NA$ 以上の幅を有するマスクパターンを遮光部のみで形成したとしても十分な遮光性が実現されるので、露光により形成される光強度分布において高いコントラストを得られる。しかし、 $0.8 \times \lambda / NA$ 以下の幅を有するマスクパターンを遮光部のみで形成した場合には、マスクパターンの外側の透光部からマスクパターンの下側に回り込む回折光のために、十分な遮光性が得られなくなり、その結果、露光により形成される光強度分布におけるコントラストが低くなる。

【0059】

このとき、透光部から回り込む回折光と反対位相の関係にある光がマスクパターンの中心部を透過するように設定できれば、これらの光が互いに干渉し合って、互いに打ち消し合うことになる。よって、 $0.8 \times \lambda / NA$ 以下の幅を有するマスクパターン（つまり遮光パターン）の中心部に位相シフターを設けることにより、その遮光性を向上させることができ、その結果、微細線幅のパターン形成においても高いコントラストを実現できるようになる。これが、マスクエンハンサーの原理であり、 $0.8 \times \lambda / NA$ 以下の幅を有する遮光パターンの中心部に位相シフターが設けられた構造をマスクエンハンサー構造と称する。但し、 $0.8 \times \lambda / NA$ を越える幅の遮光部として形成されたマスクパターンの中心部に位相シフターを設けると、逆にその遮光性は低下する。なぜなら、マスクパターン周辺から回り込んでくる回折光が殆ど存在しない状況において、該回折光と反対位相の関係にある光がマスクパターン内部を透過すると、結果的に反対位相の光が過剰となるからである。

【0060】

また、遮光パターンの中心部に位相シフターを設けることにより遮光パターンの遮光性

を向上させることができる寸法の上限は $0.8 \times \lambda / NA$ であるが、位相シフターを設けることにより遮光パターンの遮光性を顕著に向上させることができる寸法は $0.6 \times \lambda / NA$ 以下の寸法である。

【0061】

以上に説明したように、マスクエンハンサー構造によって微細パターン形成を可能とするフォトマスクを実現するためには、前述の所定寸法 $W0$ は $0.8 \times \lambda / NA$ 以下である必要があり、 $0.6 \times \lambda / NA$ 以下であることがより好ましい。また、遮光パターンを用いたパターン形成を行なうことが回折現象によって極めて困難になる寸法が $0.3 \times \lambda / NA$ であるので、所定寸法 $W0$ は $0.3 \times \lambda / NA$ 以上であることが好ましい。

【0062】

また、図1(a)に示すように、パターン112は、 $W0 \geq L2$ となる線幅 $L2$ の部分パターン112Aと、 $W0 \geq L3$ となる線幅 $L3$ の部分パターン112Bとからなる。また、パターン111と同様に、パターン112も、その外形を持つ遮光部(遮光膜)101の領域と、遮光部101内の開口部に設けられた位相シフター102の領域とを持つ。また、部分パターン112Aの中心部には線幅 $F2$ の位相シフター102Aが設けられていると共に、部分パターン112Bの中心部には線幅 $F3$ の位相シフター102Bが設けられている。すなわち、部分パターン112A及び112Bは共にマスクエンハンサー構造を有している。ここで、部分パターン112A及び112Bのそれぞれのパターン幅 $L2$ 及び $L3$ は、所定寸法 $W1$ に対して、 $W0 \geq L2 > W1 \geq L3$ の関係にある。位相シフター102A及び102Bのそれぞれの線幅 $F2$ 及び $F3$ は、 $F3 > F2$ の関係にある。

【0063】

通常、回折現象によってマスクパターン周辺の透光部からマスクパターンの裏側に回り込む回折光は、マスクパターンの線幅が細くなる程増加する。よって、マスクエンハンサー構造においては、マスクパターンの線幅が細くなる程、回折現象によりマスクパターンの裏側に回り込む光を打ち消すための位相シフターの幅を太くすることが好ましい。このようにすると、異なる線幅の複数の部分パターンからなるマスクパターンにおいても全ての部分パターンによって高い遮光性が実現され、その結果、露光により形成される光強度分布におけるコントラストが高くなるフォトマスクを実現できる。ここで、同一のパターンにおける線幅の異なる複数の部分パターンを例として説明したが、同一の透過性基板上における互いに独立した異なる複数のパターン同士の間についても同様の構成(パターン線幅が細くなるに従って位相シフター幅を太くする構成)を用いることが好ましい。すなわち、図1(a)の構成において、パターン111における部分パターン111Bの線幅 $L1$ と、パターン112における部分パターン112Bの線幅 $L3$ との間で $W0 \geq L1 > W1 \geq L3$ の関係が成り立つ場合、部分パターン111Bの位相シフター102の線幅 $F1$ と、部分パターン112Bの位相シフター102Bの線幅 $F3$ との間で $F3 > F1$ となる。

【0064】

尚、各パターンの線幅の差が、各パターン周辺から回り込む回折光の強度の差を無視できる程度に小さい場合、各パターンの中心部に設けられる位相シフターの幅を同じにしてもよい。すなわち、図1(a)の構成において、パターン111における部分パターン部111Bの線幅 $L1$ と、パターン112における部分パターン112Aの線幅 $L2$ との間で、 $W0 \geq L1 > W1$ 且つ $W0 \geq L2 > W1$ の関係が成り立つ場合、部分パターン111Bの位相シフター102の線幅 $F1$ と、部分パターン112Aの位相シフター102Aの線幅 $F2$ との間で $F2 = F1$ としてよい。

【0065】

以上のように、孤立して存在するマスクパターンに対してマスクエンハンサー構造を適用することによって、全ての孤立マスクパターンによって高い遮光性を実現でき、それにより、コントラストの高い光強度分布を達成できるフォトマスクを実現できる。すなわち、微細パターン形成に優れたフォトマスクを実現できる。

【0066】

尚、以上の説明においては、マスクエンハンサー構造がCr膜等の遮光膜と位相シフタ

一とから構成されるものとして説明を行ってきたが、図1(c)に示すように、遮光膜よりなる遮光部101を、半遮光膜よりなる半遮光部103に置き換えても同様の効果が得られる。図1(b)と図1(c)との違いは、まさに、遮光部(遮光膜)101が半遮光部(半遮光膜)103に置き換わっていることだけである。ここで、半遮光部103は、透光部を基準として露光光を同位相で且つ部分的に透過させる。すなわち、半遮光部103を透過する光と透光部を透過する光とは同位相の関係(具体的には両者の位相差が $(-30+360 \times n)$ 度以上で且つ $(30+360 \times n)$ 度以下(但し n は整数)となる関係)にある。但し、半遮光部103の透過率は15%以下であることが好ましい。このようにすれば、マスクパターンを透過した光が過剰となって、レジストを感光させることを防止できる。このような半遮光部103となる半遮光膜としては、例えば厚さ30nm以下の金属薄膜を用いることができる。金属薄膜としては、Cr(クロム)、Ta(タンタル)、Zr(ジルコニウム)、Mo(モリブデン)若しくはTi(チタン)等の金属又はそれらの合金を薄膜化(厚さ30nm以下)したものを用いることができる。具体的な合金としては、Ta-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金又はTi-Si合金等がある。

【0067】

また、前述のように遮光部101に代えて半遮光部103を用いると、 $0.8 \times \lambda / NA$ を越える線幅のマスクパターンにマスクエンハンサー構造を適用することによっても、マスクパターンの遮光性を向上させることが可能となる。なぜなら、 $0.8 \times \lambda / NA$ を越える線幅のマスクパターンにおいても、その内部を、透光部と同じ位相の光が透過するので、パターン内部に位相シフターを設けることに起因して反対位相の光が過剰になる事態を阻止できるからである。但し、 $0.8 \times \lambda / NA$ 以下の線幅のマスクパターンにおいて半遮光部103を用いた場合の効果は、遮光部101を用いた場合の効果と全く同様である。

【0068】

以下の各実施形態では、主として、マスクエンハンサー構造の適用対象となるマスクパターンに他のパターンが近接する場合における該マスクエンハンサー構造の構成について説明する。

【0069】

(第1の実施形態)

以下、本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクについて図面を参照しながら説明する。

【0070】

図2(a)は第1の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、図2(b)は図2(a)におけるII-II線の断面図である。尚、図2(a)において、透過性基板100については斜視図的に表している。

【0071】

図2(a)に示すように、透過性基板100の上には、露光によりウェハ上に所望のライン状のパターンを形成するためのマスクパターン(ラインパターン121~123)が描かれている。ここで、各ラインパターン121~123は基本的に遮光部101から構成されている。また、所定寸法 W_0 に対して、各ラインパターン121~123における線幅が W_0 以下となるパターン領域の中心部では、遮光部101が開口されており、該開口領域に位相シフター102が設けられている。すなわち、各ラインパターン121~123はマスクエンハンサー構造を持つ。例えばパターン121は、 $W_0 \geq W_2 > W_3$ の関係を満たす所定寸法 W_2 及び W_3 に対して、 $W_2 \geq L_4 > W_3$ の関係を満たす線幅 L_4 のパターンであり、そのパターン121の中心部に位相シフター102が設けられている。

【0072】

また、図2(a)に示すように、パターン121は、そのライン方向に対して垂直な方向において透光部を挟んで所定寸法 S_0 以下の距離で他のパターン122及び123と近接する部分パターン121Aと、前記の垂直な方向において所定寸法 S_0 以下の距離では

他のパターンと近接しない（つまり孤立した）部分パターン 121B とからなる。尚、ここで、部分パターン 121A と、それを挟む他のパターン 122 及び 123 とは密集パターン 151 を構成している。また、部分パターン 121A の中心部には、線幅 F4A の位相シフター 102A が設けられていると共に、部分パターン 121B の中心部には、線幅 F4B の位相シフター 102B が設けられている。すなわち、部分パターン 121A 及び 121B はマスクエンハンサー構造を持つ。ここで、密集パターン 151 を構成する部分パターン 121A の位相シフター 102A は、孤立した部分パターン 121B の位相シフター 102B よりも細い。すなわち、 $F4B > F4A$ である。

【0073】

また、図 2 (b) に示すように、遮光部 101 は遮光膜から構成されており、位相シフター 102 は、透過性基板 100 における該遮光膜の開口部の下側を掘り込むことによって形成できる。

【0074】

第 1 の実施形態によると、所定の寸法以下の距離で他のパターン 122 及び 123 と近接する部分パターン 121A のマスクエンハンサー構造において、位相シフター 102（位相シフター 102A）の幅を相対的に小さくする。このため、近接する他のパターン 122 及び 123 の存在によって、部分パターン 121A の周辺の透光部から部分パターン 121A の裏側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、部分パターン 121A の内部（位相シフター 102A）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、部分パターン 121A の遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0075】

また、第 1 の実施形態によると、任意の間隔で複数のパターンが配置された密集パターンにおけるマスクエンハンサー構造のパターンについても、露光マージンを最大化できるフォトマスクの実現が可能となる。従って、微細なマスクパターンにおけるマスクエンハンサー構造による優れたパターン形成特性が、マスクパターンとなる各パターンが任意の近接関係を持つ場合にも発揮されるので、微細パターン形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0076】

尚、本実施形態において、図 2 (a) に示すように、マスクエンハンサー構造を持つパターン 121 に近接するパターン 122 及び 123 も、マスクエンハンサー構造をパターンとして表している。しかし、部分パターン 121A と共に密集パターン 151 を構成するパターン 122 及び 123 はマスクエンハンサー構造のパターンに限られるものではなく、遮光部のみから形成されたパターンであってもよい。

【0077】

また、本実施形態において、マスクエンハンサー構造は、遮光部と位相シフターとから構成される構造として説明してきたが、前記の遮光部を半遮光部と置き換えてもよい。すなわち、図 3 に示すように、各パターン 121～123 のマスクエンハンサー構造が、位相シフター 102 と半遮光部 103 とから構成されていてもよい。図 3 において明らかにように、図 2 (a) に示す遮光部 101 が半遮光部 103 に置き換えられている。

【0078】

また、本実施形態において、パターン 121 を構成する部分パターン 121A 及び部分パターン 121B の線幅を共に L4 とした。しかし、部分パターン 121A 及び 121B のそれぞれの線幅は、W3 よりも大きく且つ W2 以下の範囲内のパターン幅であれば互い

に異なってもよい。すなわち、部分パターン 121A の線幅を $L4A$ とし、部分パターン 121B の線幅を $L4B$ とすると、 $W2 \geq L4A > W3$ 且つ $W2 \geq L4B > W3$ である限り、 $L4A \neq L4B$ であってもよい。また、所定寸法 $W2$ 及び $W3$ は、 $(W2 - W3) \leq 0.2 \times \lambda / NA$ の関係を満たすことが好ましい。すなわち、部分パターン 121A の線幅 $L4A$ と、部分パターン 121B の線幅 $L4B$ との差は $(0.2 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることが好ましい。

【0079】

また、本実施形態において、密集パターン 151 を形成する部分パターン 121A と、孤立パターンである（ライン方向に対して垂直な方向において）部分パターン部 121B とが、1つの連続パターンであるパターン 121 を構成する場合を例として説明した。しかし、前述の各線幅についての関係を満足する限りにおいて、密集パターンを構成するパターンと、孤立パターンとが、同一の透過性基板上における互いに異なるパターンであってもよい。

【0080】

また、本実施形態において、前記の $W0$ は $0.8 \times \lambda / NA$ 以下であることが好ましく、 $0.3 \times \lambda / NA$ 以上で且つ $0.6 \times \lambda / NA$ 以下であることがより好ましい。

【0081】

また、本実施形態において、前記の $S0$ は λ / NA 以下であることが好ましい。

【0082】

以下、前述の本実施形態のフォトマスクが、マスクエンハンサー構造によって孤立パターン領域のみだけではなく密集パターン領域においても微細パターン形成特性に優れたフォトマスクとなることを、シミュレーション結果に基づいて詳しく説明する。

【0083】

まず、マスクエンハンサー構造において、同一の位相シフター幅に対して十分なコントラストが得られるマスクパターン線幅の許容範囲について説明する。すなわち、本実施形態における所定寸法 $W2$ と所定寸法 $W3$ との差 $(W2 - W3)$ は $0.2 \times \lambda / NA$ 以下であることが好ましいということである。以下、この内容について図面を参照しながら説明する。

【0084】

図4(a)は、マスクエンハンサー構造を持つパターンの一例を表す図である。図4(a)に示すパターンは、線幅 F の位相シフター 102 が遮光部 101 により囲まれてなる、パターン幅 L のラインパターンである。本願発明者は、 L と F との種々の組み合わせにおいて図4(a)に示すマスクパターンを用いて、幅 70 nm のラインパターン（レジストパターン）形成の光学シミュレーションを行なった。シミュレーションにおいては、露光波長 $\lambda = 193\text{ nm}$ 、開口数 $NA = 0.75$ に設定すると共に、照明条件として、干渉度における外径及び内径がそれぞれ 0.8 及び 0.6 となる $3/4$ 輪帯照明を用いた。

【0085】

図4(b)は、前記のシミュレーションによって、図4(a)に示すパターンにおける L と F との種々の組み合わせに対する露光マージンをプロットした等高線グラフである。図4(b)に示す等高線グラフでは、 L と F との組み合わせにおける最大露光マージン E_{max} に対しての、 L と F との各組み合わせにおける露光マージン $E(L, F)$ の比率を表している。すなわち、 $E(L, F) / E_{max}$ の等高線グラフを表している。ここで、縦軸は F であり、横軸は $(L - F)$ を λ / NA で規格化した値で示してある。尚、露光マージンとは、パターン寸法を 10% 変化させるために必要な露光量変化の割合（単位：%）を意味する。すなわち、露光マージンが大きいほど、露光量変化に対してパターン寸法が安定するので、実際のパターン形成工程における露光量変動に対してパターン寸法が変動しにくくなるという好ましい状況になる。

【0086】

図4(b)に示す等高線グラフから、例えば $F = 60\text{ nm}$ の場合、 $(L - F)$ が $0.1 \times \lambda / NA$ から $0.3 \times \lambda / NA$ までの範囲において、最大露光マージンの 90% 以上の

露光マージンが実現されていることが分かる。すなわち、最大露光マージンの90%の露光マージンを実現できる範囲を、十分な露光マージンが得られる範囲とするなら、 $F = 60 \text{ nm}$ の位相シフターに対して十分な露光マージンが得られるパターン幅 L の許容範囲は、 $F + 0.1 \times \lambda / NA$ から $F + 0.3 \times \lambda / NA$ までとなる。

【0087】

また、図4(b)のグラフから、 $F = 40 \sim 80 \text{ nm}$ のどの値においても、十分な露光マージンが得られるパターン幅 L には $0.2 \times \lambda / NA$ 程度のレンジがあることも分かる。言い換えると、パターン幅 L の差が $0.2 \times \lambda / NA$ 以下である各パターンに対して、同じ線幅 F の位相シフターを設けたとしても、十分な露光マージンが得られるということである。

【0088】

次に、密集パターンを構成する、マスクエンハンサー構造を持つパターンの中心付近に配置される位相シフターの幅を、孤立パターンとなる、マスクエンハンサー構造を持つパターンの中心付近に配置される位相シフターの幅よりも細くすることのメリットについて図面を参照しながら説明する。

【0089】

図5(a)は、マスクエンハンサー構造を持つパターンが密集パターンを構成している様子を示す図である。図5(a)に示すように、マスクエンハンサー構造を有する線幅 L のライン状パターン310の両側に、間隔 S (透光部領域)を置いて、遮光部からなる線幅 L_w のライン状パターン311及び312が近接して配置されている。ライン状パターン310のマスクエンハンサー構造は、線幅が F の位相シフター310Bを遮光部310Aによって囲むことにより構成されている。

【0090】

図5(b)は、露光時にウェハ上における図5(a)の線分BB'に対応する位置に形成される光強度分布を示す図である。図5(b)において、線幅 L のパターン310の中心と対応する光強度を I_c (間隔 S によって変化する)とすると、この値が小さいほどパターン310の遮光性が高いことを意味する。逆に、この値が大きいと、パターン310によって十分に光を遮光できていないことを意味する。尚、本明細書においては、特に断らない限り、光強度を露光光の光強度を1としたときの相対光強度で表す。

【0091】

図6(a)及び(b)は、前記の I_c の位相シフター幅 F に対する依存性をシミュレーションした結果を示している。シミュレーションにおいては、露光波長 $\lambda = 193 \text{ nm}$ 、開口数 $NA = 0.75$ に設定すると共に、照明条件として、干渉度における外径及び内径がそれぞれ0.8及び0.6となる3/4輪帯照明を用いた。また、シミュレーションにおいては、幅 $L = 100 \text{ nm}$ 、幅 $L_w = 300 \text{ nm}$ に設定した。すなわち、単純な遮光パターンでは十分に光を遮光できない $L = 100 \text{ nm}$ ($L = 100 \text{ nm}$ は $0.8 \times \lambda / NA = 206 \text{ nm}$ よりも小さい)のパターン310はマスクエンハンサー構造を持ち、単純な遮光パターンでも十分に光を遮光できる $L_w = 300 \text{ nm}$ のパターン311及び312は遮光部のみから構成されている。

【0092】

図6(a)は、 S が実質的に無限大である場合、つまり、マスクエンハンサー構造のパターン310が孤立して存在する場合における、光強度 I_c の位相シフター幅 F に対する依存性をシミュレーションした結果を表すグラフである。また、図6(b)は、 $S = 100 \text{ nm}$ である場合、つまり、マスクエンハンサー構造のパターン310の近傍に他の遮光パターン(パターン311及び312)が近接する場合における、光強度 I_c の位相シフター幅 F に対する依存性をシミュレーションした結果を表すグラフである。

【0093】

図6(a)のグラフでは、 $F = 65 \text{ nm}$ において光強度 I_c が最小値となっている。すなわち、マスクエンハンサー構造を持つ孤立パターンにおいて遮光性が最大となるのは位相シフター幅 F が 65 nm のときであることが分かる。一方、図6(b)のグラフでは、

$F = 40 \text{ nm}$ において光強度 I_c が最小値となっている。すなわち、他の遮光パターンが近傍に存在する、マスクエンハンサー構造を持つパターンにおいて遮光性が最大となる F が 40 nm のときであることが分かる。

【0094】

以上のように、マスクエンハンサー構造を持つ同じ線幅 ($L = 100 \text{ nm}$) のパターンにおいても、そのパターンが孤立したパターンであるか又は密集パターンを構成しているかに応じて、遮光性が最大となる位相シフター幅、つまり露光マージンが最大となる位相シフター幅は異なる。具体的には、密集パターンを構成するパターンにおける露光マージンが最大となる位相シフター幅 40 nm は、孤立したパターンにおける露光マージンが最大となる位相シフター幅 65 nm よりも細くなる。以下、この理由について説明する。

【0095】

マスクエンハンサー構造においては、パターン周辺からパターンの裏側に回り込んでくる回折光を、パターン内部を透過する反対位相の光によって打ち消すことにより遮光性を向上させている。そのため、パターン周辺から回り込んでくる光が増加する程、パターン内部を透過する反対位相の光を増加させることが好ましい。しかし、パターン周辺から回り込んでくる光が減少すれば、パターン内部を透過する反対位相の光も減少させることが好ましい。なぜならば、もし、マスクパターン内部を透過する反対位相の光が過剰になると、マスクパターンの遮光性は劣化し、その結果、パターン形成に好ましくない状態となるからである。

【0096】

ところで、微細な遮光パターンが孤立して存在する場合、パターンの線幅が細いことに加え、パターン周辺には十分に広い透光領域が存在することになる。よって、多くの回折光がパターンの裏側に回りこむことになる。そのため、その回折光を十分に打ち消すためには、幅の広い位相シフターを設けたマスクエンハンサー構造が好ましい。

【0097】

一方、同じ微細な遮光パターンでも、その近傍に他の遮光パターンが存在し、それによりパターン周辺の透光領域の面積が減少すると、パターンの裏側に回りこむ回折光は孤立パターンの場合と比べて減少する。よって、そのような状況では、孤立パターンのときよりも幅の細い位相シフターを設けたマスクエンハンサー構造が好ましいものとなる。

【0098】

一般に、遮光性と露光マージンやコントラスト等との間には相関性があるため、マスクエンハンサー構造を持つ同じ線幅のパターンにおいて、該パターンが他のパターンと密集パターンを構成する場合には該パターンに細い位相シフターを設ける一方、該パターンが孤立して存在する場合には該パターンに太い位相シフターを設けることが好ましい。これにより、優れたパターン形成特性が得られる。以下、この効果をシミュレーションによって直接確認した結果について説明する。ここで、パターン形成特性の優劣を露光マージンによって評価している。

【0099】

まず、本願発明者は、図5(a)に示すマスクパターンを用いて、幅 70 nm のパターンの形成を行なう際の露光マージンをシミュレーションにより求めた。シミュレーションにおいては、露光波長 $\lambda = 193 \text{ nm}$ 、開口数 $NA = 0.75$ に設定すると共に、照明条件として、干渉度における外径及び内径が 0.8 及び 0.6 となる $3/4$ 輪帯照明を用いた。また、図5(a)におけるパターン310の幅 L を 100 nm とし、パターン310に近接する遮光パターン311及び312の幅 L_w を 300 nm とした。

【0100】

図7は、前述の条件において、パターン間の近接間隔 S を変化させた場合における、露光マージンが最大となるときの位相シフターの幅 F_{opt} をプロットしたグラフである。尚、図7において、間隔 S を λ/NA により規格化した寸法で示している。

【0101】

図7から分かるように、間隔 S が λ/NA 以下になると（規格化された S が1以下にな

ると)、露光マージンが最大となるときの位相シフターの幅 F_{opt} が減少する。特に、間隔 S が $0.5 \times \lambda / NA$ 以下になると、最適な位相シフター幅 F_{opt} は、間隔 S が λ / NA を越える場合(パターン 310 が実質的に孤立している場合)と比べて半分程度まで下がってしまう。よって、良好な露光マージンを実現するためには、 λ / NA 以下となる間隔 S で密集パターンを構成する、マスクエンハンサー構造を持つパターンの中心部に設けられた位相シフターを、孤立パターンに設けられた位相シフターよりも細くすることが好ましいことが分かる。また、この好ましい構成の本質は、密集パターン領域におけるマスクパターン線幅に対する位相シフター幅の割合を相対的に減少させることである。

【0102】

ところで、一般に近接効果と呼ばれる現象により、ウェハ上に形成される所望のパターンの幅が同じであっても、マスクパターンの線幅はそのパターンに近接する他のパターンとの距離に応じて変えなければならないことがある。このように、ウェハ上に形成される所望のパターンの幅が同じであるのに、密集パターン領域と孤立パターン領域との間でマスクパターンの線幅が異なる場合、密集パターン領域におけるマスクパターン幅に対する位相シフター幅の割合を相対的に減少させるという構成を採用することが適切である。

【0103】

すなわち、密集パターン領域におけるマスクエンハンサー構造のパターンの線幅 L_d とその中央付近に設けられた位相シフターの幅 F_d との比 F_d / L_d が、孤立パターン領域におけるマスクエンハンサー構造のパターンの線幅 L_i とその中央付近に設けられた位相シフターの幅 F_i との比 F_i / L_i よりも小さいことが好ましい。

【0104】

また、図7のグラフを詳細に見ると、間隔 S が λ / NA 以下の場合、間隔 S の減少の度合いに比例して、露光マージンが最大となる位相シフター幅 F_{opt} も減少していることが分かる。尚、この結果より得られる、密集パターンを構成するマスクエンハンサー構造のパターンにおける好ましい構成については、後記の第1変形例で詳しく説明する。

【0105】

尚、図7に示す、露光マージンを最大とする位相シフター幅 F_{opt} の算出においては、マスクエンハンサー構造のパターン(図5(a)のパターン310)に近接する他のパターン(図5(a)のパターン311及び312)を、遮光部のみからなる単純な遮光パターンとして F_{opt} の算出を行なったが、近接する他のパターンがマスクエンハンサー構造を持つ場合における F_{opt} の算出結果を以下に示す。

【0106】

図8(a)は、マスクエンハンサー構造を持つパターンが、マスクエンハンサー構造を持つ他のパターンと共に密集パターンを構成している様子を示す図である。図8(a)に示すように、マスクエンハンサー構造を有する線幅 L のライン状パターン320の両側に、間隔 S (透光部領域)を置いて、マスクエンハンサー構造を有する線幅 L のライン状パターン321及び322が近接して配置されている。ここで、パターン320~322のマスクエンハンサー構造はそれぞれ、線幅が F の位相シフター320B~322Bを遮光部320A~320Aによって囲むことにより構成されている。

【0107】

本願発明者は、図8(a)に示すマスクパターンを用いて、幅70nmのパターンの形成を行なう際の露光マージンをシミュレーションにより求めた。シミュレーションにおいては、露光波長 $\lambda = 193$ nm、開口数 $NA = 0.75$ に設定すると共に、照明条件として、干渉度における外径及び内径が0.8及び0.6となる3/4輪帯照明を用いた。また、図8(a)におけるパターン320~322の幅 L を100nmとした。

【0108】

図8(b)は、前述の条件において、パターン間の近接間隔 S を変化させた場合における、露光マージンが最大となるときの位相シフターの幅 F_{opt} をプロットしたグラフである。尚、図8(b)において、間隔 S を λ / NA により規格化した寸法で示している。

【0109】

図 8 (b) のグラフから分かるように、図 8 (a) に示すマスクパターンを用いた場合にも、図 7 とほぼ同様の結果が得られた。すなわち、間隔 S が λ/NA 以下になると、露光マージンが最大となるときの位相シフター幅 F_{opt} が減少する。但し、図 8 (b) のグラフが図 7 のグラフと僅かに異なっている点は、同じ間隔 S において、露光マージンが最大となるときの位相シフター幅 F_{opt} が 5 nm 程度小さいことである。これは、近接する他のパターン 321 及び 322 における位相シフター 321B 及び 322B を透過する反対位相の光の影響によって、反対位相の光が全体として過剰になってしまったことに起因する。よって、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅の決定においては、同じ間隔でパターン同士が密集する場合でも、対象とするパターンに近接する他のパターンがマスクエンハンサー構造を持つのか又は単純な遮光パターンであるのかを区別することが好ましい（この好ましい構成については、後記の第 2 変形例で詳しく説明する）。

【0110】

（第 1 の実施形態の第 1 変形例）

以下、本発明の第 1 の実施形態の第 1 変形例に係るフォトマスクについて図面を参照しながら説明する。

【0111】

図 9 は第 1 の実施形態の第 1 変形例に係るフォトマスク、具体的には、密集パターンを構成するマスクエンハンサー構造のマスクパターンが設けられたフォトマスクの平面図である。尚、図 9 において、透過性基板 100 については斜視図的に表している。

【0112】

図 9 に示すように、透過性基板 100 の上には、露光によりウェハ上に所望のライン状のパターンを形成するためのマスクパターン（ラインパターン 124～128）が描かれている。ここで、各ラインパターン 124～128 は基本的に遮光部 101 から構成されている。また、所定寸法 W_0 に対して、各ラインパターン 124～128 における線幅が W_0 以下となるパターン領域の中心部には位相シフター 102 が設けられている。すなわち、各ラインパターン 124～128 はマスクエンハンサー構造を持つ。例えばパターン 124 は、 $W_0 \geq W_2 > W_3$ の関係を満たす所定寸法 W_2 及び W_3 に対して、 $W_2 \geq L_5 > W_3$ の関係を満たす線幅 L_5 のパターンであって、そのパターン 124 の中心部に位相シフター 102 が設けられている。

【0113】

また、図 9 に示すように、パターン 124 は、そのライン方向に対して垂直な方向において透光部を挟んで間隔 G_1 ($S_0 > G_1$) で他のパターン 125 及び 126 と近接する部分パターン 124A を持つ。部分パターン 124A と、それを挟む他のパターン 125 及び 126 とは密集パターン 152 を構成している。また、部分パターン 124A の中心部には、線幅 F_5A の位相シフター 102A が設けられている。

【0114】

また、パターン 124 は、前記の垂直な方向において透光部を挟んで間隔 G_2 ($S_0 > G_2 > G_1$) で他のパターン 127 及び 128 と近接する部分パターン 124B を持つ。部分パターン 124B と、それを挟む他のパターン 127 及び 128 とは密集パターン 153 を構成している。また、部分パターン 124B の中心部には、線幅 F_5B の位相シフター 102B が設けられている。

【0115】

本変形例の特徴は、 $F_5B > F_5A$ となる構成を持つことである。すなわち、密集パターンを構成するマスクエンハンサー構造のパターンにおいて、密集度の高い密集パターンを構成するパターンの中心部における位相シフター幅は、密集度の低い密集パターンを構成するパターンの中心部における位相シフター幅よりも細い。

【0116】

また、マスクエンハンサー構造の位相シフター幅は、それが属する密集パターンの密集度に比例して細くすることが好ましい。すなわち、図 9 に示すマスク構成では、 $(F_5B - F_5A)$ が $(G_2 - G_1)$ に比例することが好ましい。

【0117】

本変形例によると、近接する他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って、マスクエンハンサー構造を有するパターン（パターン124）における位相シフター幅を小さくする。このため、他のパターンの存在によって、パターン124の周辺の透光部からパターンの裏124側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、パターン124の内部（位相シフター102）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、パターン124の遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0118】

また、本変形例によると、任意の間隔で複数のパターンが配置された密集パターンにおけるマスクエンハンサー構造のパターンについても、露光マージンを最大化できるフォトマスクの実現が可能となる。従って、微細なマスクパターンにおけるマスクエンハンサー構造による優れたパターン形成特性が、マスクパターンとなる各パターンが任意の近接関係を持つ場合にも発揮されるので、微細パターン形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0119】

尚、本変形例において、図9に示すように、マスクエンハンサー構造を持つパターン124に近接するパターン125～128も、マスクエンハンサー構造をパターンとして表している。しかし、パターン125～128はマスクエンハンサー構造のパターンに限られるものではなく、遮光部のみから形成されたパターンであってもよい。

【0120】

また、本変形例において、マスクエンハンサー構造は、遮光部と位相シフターとから構成される構造として説明してきたが、前記の遮光部を半遮光部と置き換えてもよい。すなわち、図10に示すように、各パターン124～128のマスクエンハンサー構造が、位相シフター102と半遮光部103とから構成されていてもよい。図10において明らかに、図9に示す遮光部101が半遮光部103に置き換えられている。

【0121】

また、本変形例において、パターン124を構成する部分パターン124A及び部分パターン124Bの線幅を共にL5とした。しかし、部分パターン124A及び124Bのそれぞれの線幅は、W3よりも大きく且つW2以下の範囲内のパターン幅であれば互いに異なってもよい。すなわち、部分パターン124Aの線幅をL5Aとし、部分パターン124Bの線幅をL5Bとすると、 $W2 \geq L5A > W3$ 且つ $W2 \geq L5B > W3$ である限り、 $L5A \neq L5B$ であってもよい。また、前記の所定寸法W2及びW3は、第1の実施形態と同様に、 $(W2 - W3) \leq 0.2 \times \lambda / NA$ の関係を満たすことが好ましい。すなわち、部分パターン124Aの線幅L5Aと、部分パターン124Bの線幅L5Bとの差は $(0.2 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることが好ましい。ここで、ウェハ上に形成される所望のパターンの幅が同じであるのに、高密度の密集パターン領域と低密度の密集パターン領域との間でマスクパターンの線幅が異なる場合、具体的には、部分パターン124Aの線幅L5Aと、部分パターン124Bの線幅L5Bとが異なる場合、次の様な構成を採用することが好ましい。すなわち、高密度の密集パターン領域のマスクパターン線幅L5Aと該パターンの中央付近に設けられた位相シフター（位相シフター102A）の幅F5Aとの比 $F5A / L5A$ が、低密度の密集パターン領域のマスクパターン線幅L5Bと該パターンの中央付近に設けられた位相シフター（位相シフター102B）の幅F5Bとの比 $F5B / L5B$ よりも小さい構成である。

【0122】

また、本変形例において、密集度の高い密集パターン 152 を構成する部分パターン 124A と、密集度の低い密集パターン 152 を構成する部分パターン部 124B とが、1 つの連続パターンであるパターン 124 を構成する場合を例として説明した。しかし、前述の各線幅についての関係を満足する限りにおいて、密集度の高い密集パターンを構成するパターンと、密集度の低い密集パターンを構成するパターンとが、同一の透過性基板上における互いに異なるパターンであってもよい。

【0123】

また、本変形例において、第 1 の実施形態と同様に、前記の $W0$ は $0.8 \times \lambda / NA$ 以下であることが好ましく、 $0.3 \times \lambda / NA$ 以上で且つ $0.6 \times \lambda / NA$ 以下であることがより好ましい。

【0124】

また、本変形例において、第 1 の実施形態と同様に、前記の $S0$ は λ / NA 以下であることが好ましい。

【0125】

ところで、本変形例の構成において、 $G2 > S0$ で且つ $S0 > G1$ であるとする、間隔が $S0$ 以上の密集パターンにおける位相シフター幅については孤立パターンの場合と同じ値に設定すればよいので、 $(F5B - F5A)$ が $(S0 - G1)$ に比例するようにマスク構成を設定すればよい。

【0126】

尚、本変形例では、密集パターンにおいて各パターンが等間隔に並んでいる場合を例として説明してきたが、各パターンが不規則な間隔で並んだ密集パターンについても本変形例の構成を適用することができる。

【0127】

図 11 (a) ~ (d) は、各パターンが不規則な間隔で並んだ密集パターンを、それと等価な、各パターンが等間隔に並んだ密集パターンに換算する方法を説明するための図である。

【0128】

まず、図 11 (a) に示す密集パターン 161 においては、着目するパターン 331 と、その両側に近接する他のパターン 332 及び 333 との間隔がそれぞれ $g1$ 及び $g2$ であるとする。このとき、 $g1$ 及び $g2$ が共に $S0$ 以下の値であれば、密集パターン 161 は、図 11 (b) に示す密集パターン 162 と等価であると考えればよい。すなわち、密集パターン 162 においては、着目するパターン 341 と、その両側に近接する他のパターン 342 及び 343 との間隔が、 $g0 = (g1 + g2) / 2$ の等間隔である。密集パターン 161 と密集パターン 162 とが等価であると考えられる理由は次の通りである。それは、本変形例のマスク構成は回折現象を考慮したものであるところ、周期配置のピッチに依存する物理現象には相加平均の法則が成り立つからである。尚、密集パターン 161 を構成する各パターン 331 ~ 333、及び密集パターン 162 を構成する各パターン 341 ~ 343 は、いずれもライン状の遮光部 101 の中心部に位相シフター 102 が配置されてなるマスクエンハンサー構造を持つ。

【0129】

次に、図 11 (c) に示す密集パターン 163 においては、着目するパターン 351 と、その両側に近接する他のパターン 352 及び 353 との間隔がそれぞれ $g3$ 及び $g4$ であるとする。このとき、 $g4 > S0$ で且つ $S0 > g3$ であれば、密集パターン 163 は、図 11 (d) に示す密集パターン 164 と等価であると考えればよい。すなわち、密集パターン 164 においては、着目するパターン 361 と、その両側に近接する他のパターン 362 及び 363 との間隔がそれぞれ $g3$ 及び $S0$ である。密集パターン 163 と密集パターン 164 とが等価であると考えられる理由は次の通りである。それは、パターン同士の間隔が $S0$ よりも大きくなれば、パターン同士の間隔が $S0$ である場合と光学的に等価となるので、位相シフター幅を決定するための計算において、 $S0$ よりも大きなパターン同士の間隔を直接考慮する必要はないからである。さらに、図 11 (d) に示す

密集パターン 164 については、図 11 (a) に示す密集パターン 161 から図 11 (b) に示す密集パターン 162 への変換と同様に、各パターンが等間隔 (具体的には $(g3 + S0) / 2$ の間隔) で並んだ密集パターンに変換することが可能である。尚、密集パターン 163 を構成する各パターン 351 ~ 353、及び密集パターン 164 を構成する各パターン 361 ~ 363 は、いずれもライン状の遮光部 101 の中心部に位相シフター 102 が配置されてなるマスクエンハンサー構造を持つ。

【0130】

(第 1 の実施形態の第 2 変形例)

以下、本発明の第 1 の実施形態の第 2 変形例に係るフォトマスクについて図面を参照しながら説明する。

【0131】

図 12 は第 1 の実施形態の第 2 変形例に係るフォトマスク、具体的には、密集パターンを構成するマスクエンハンサー構造のマスクパターンが設けられたフォトマスクの平面図である。尚、図 12 において、透過性基板 100 については斜視図的に表している。

【0132】

図 12 に示すように、透過性基板 100 の上には、露光によりウェハ上に所望のライン状のパターンを形成するためのマスクパターン (ラインパターン 131 ~ 135) が描かれている。ここで、各ラインパターン 131 ~ 135 は基本的に遮光部 101 から構成されている。また、所定寸法 $W0$ に対して、各ラインパターン 131 ~ 133 における線幅が $W0$ 以下となるパターン領域の中心部には位相シフター 102 が設けられている。すなわち、各ラインパターン 131 ~ 133 はマスクエンハンサー構造を持つ。例えばパターン 131 は、 $W0 \geq W2 > W3$ の関係を満たす所定寸法 $W2$ 及び $W3$ に対して、 $W2 \geq L6 > W3$ の関係を満たす線幅 $L6$ のパターンであって、そのパターン 131 の中心部に位相シフター 102 が設けられている。

【0133】

また、図 12 に示すように、パターン 131 は、そのライン方向に対して垂直な方向において透光部を挟んで間隔 G ($S0 > G$) で他のパターン 132 及び 133 (マスクエンハンサー構造を持つ) と近接する部分パターン (マスクエンハンサー近接部) 131A を持つ。また、部分パターン 131A の中心部には、線幅 $F6A$ の位相シフター 102A が設けられている。

【0134】

また、パターン 124 は、前記の垂直な方向において透光部を挟んで間隔 G ($S0 > G$) で他のパターン 134 及び 135 (遮光部 101 のみから構成される) と近接する部分パターン (遮光パターン近接部) 131B を持つ。すなわち、部分パターン 131A 及び 131B から構成されるパターン 131 は、他のパターン 132 ~ 135 のそれぞれと全て等距離で近接している。また、部分パターン 131B の中心部には、線幅 $F6B$ の位相シフター 102B が設けられている。

【0135】

本変形例の特徴は、 $F5B > F5A$ となる構成を持つことである。すなわち、マスクエンハンサー構造のパターン同士が密集パターンを構成している場合におけるパターン内部の位相シフター幅は、マスクエンハンサー構造のパターンが単純な遮光パターンと共に密集パターンを構成している場合におけるパターン内部の位相シフター幅よりも細い。

【0136】

本変形例によると、近接する他のパターンが遮光部よりなる場合と比べて、該他のパターンがマスクエンハンサー構造を持つ場合に、マスクエンハンサー構造を有するパターン (パターン 131) における位相シフター幅をより小さくする。すなわち、他のパターンの遮光性が高くなるに従って、パターン 131 における位相シフター幅を小さくする。このため、他のパターンの存在によって、パターン 131 の周辺の透光部からパターン 131 の裏側に回り込んでくる光 (透光部と同位相の光) が減少する程度に応じて、パターン 131 の内部 (位相シフター 102) を透過する光 (透光部と反対位相の光) を減少させ

ることができる。従って、パターン 131 の遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、マスクエンハンサー構造によりプロセスマージンの向上効果が十分に得られる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を、隣り合う他のパターンの遮光性に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0137】

また、本変形例によると、任意の間隔で複数のパターンが配置された密集パターンにおけるマスクエンハンサー構造のパターンについても、露光マージンを最大化できるフォトマスクの実現が可能となる。従って、微細なマスクパターンにおけるマスクエンハンサー構造による優れたパターン形成特性が、マスクパターンとなる各パターンが任意の近接関係を持つ場合にも発揮されるので、微細パターン形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0138】

尚、本変形例において、マスクエンハンサー構造は、遮光部と位相シフターとから構成される構造として説明してきたが、該遮光部を半遮光部と置き換えてもよい。

【0139】

また、本変形例において、パターン 131 を構成する部分パターン 131A 及び部分パターン 131B の線幅を共に $L6$ とした。しかし、部分パターン 131A 及び 131B のそれぞれの線幅は、 $W3$ よりも大きく且つ $W2$ 以下の範囲内のパターン幅であれば互いに異なってもよい。すなわち、部分パターン 131A の線幅を $L6A$ とし、部分パターン 131B の線幅を $L6B$ とすると、 $W2 \geq L6A > W3$ 且つ $W2 \geq L6B > W3$ である限り、 $L6A \neq L6B$ であってもよい。また、前記の所定寸法 $W2$ 及び $W3$ は、第 1 の実施形態と同様に、 $(W2 - W3) \leq 0.2 \times \lambda / NA$ の関係を満たすことが好ましい。すなわち、部分パターン 131A の線幅 $L6A$ と、部分パターン 131B の線幅 $L6B$ との差は $(0.2 \times \lambda / NA) \times M$ 以下であることが好ましい。ここで、ウェハ上に形成される所望のパターンの幅が同じであるのに、部分パターン 131A (マスクエンハンサー近接部) の線幅 $L6A$ と、部分パターン 131B (遮光パターン近接部) の線幅 $L6B$ とが異なる場合、次の様な構成を採用することが好ましい。すなわち、マスクエンハンサー近接部である部分パターン 131A の線幅 $L6A$ と該パターンの中央付近に設けられた位相シフター (位相シフター 102A) の幅 $F6A$ との比 $F6A / L6A$ が、遮光パターン近接部である部分パターン 131B の線幅 $L6B$ と該パターンの中央付近に設けられた位相シフター (位相シフター 102B) の幅 $F6B$ との比 $F6B / L6B$ よりも小さい構成である。

【0140】

また、本変形例において、マスクエンハンサー近接部である部分パターン 131A と、遮光パターン近接部である部分パターン 131B とが、1 つの連続パターンであるパターン 131 を構成する場合を例として説明してきた。しかし、前述の各線幅についての関係を満足する限りにおいて、マスクエンハンサー近接部であるパターンと、遮光パターン近接部であるパターンとが、同一の透過性基板上における互いに異なるパターンであってもよい。

【0141】

また、本変形例において、第 1 の実施形態と同様に、前記の $W0$ は $0.8 \times \lambda / NA$ 以下であることが好ましく、 $0.3 \times \lambda / NA$ 以上で且つ $0.6 \times \lambda / NA$ 以下であることがより好ましい。第 1 の実施形態と同様に、前記の $S0$ は λ / NA 以下であることが好ましい。

【0142】

また、本変形例において、第 1 の実施形態と同様に、前記の $S0$ は λ / NA 以下であることが好ましい。

【0143】

(第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態に係るパターン形成方法、具体的には第1の実施形態に係るフォトマスク（以下、本発明のフォトマスク）を用いたパターン形成方法について図面を参照しながら説明する。

【0144】

図13(a)～(d)は第2の実施形態に係るパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0145】

まず、図13(a)に示すように、基板500上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜501を形成した後、図13(b)に示すように、被加工膜501の上に、ポジ型のレジスト膜502を形成する。

【0146】

次に、図13(c)に示すように、本発明のフォトマスク、例えば図2(b)に示す第1の実施形態に係るフォトマスクに対して露光光503を照射し、該フォトマスクを透過した透過光504によってレジスト膜502に対して露光を行なう。

【0147】

尚、図13(c)に示す工程で用いるフォトマスクの透過性基板100上には、露光により転写されるライン状のマスクパターンが設けられている。マスクパターンは、遮光部101のみから又は遮光部101と位相シフター102とから構成されている。また、位相シフター102は遮光部101に取り囲まれるように形成されている。すなわち、マスクパターンは、遮光部101と位相シフター102とからなるマスクエンハンサー構造を持つ。また、位相シフター102は、例えば透過性基板100を掘り下げることによって形成されている。

【0148】

また、図13(c)に示す露光工程では、例えば斜入射露光用の光源を用いてレジスト膜502に対して露光を行なう。このとき、図13(c)に示すように、現像工程でレジストが溶解するに足りる露光エネルギーが照射されるのは、マスクパターン以外の領域と対応するレジスト膜502の潜像部分502aのみである。

【0149】

次に、レジスト膜502に対して現像を行なって潜像部分502aを除去することにより、図13(d)に示すように、マスクパターンと対応するレジストパターン505を形成する。

【0150】

第2の実施形態によると、本発明のフォトマスク（具体的には第1の実施形態に係るフォトマスク）を用いたパターン形成方法であるため、第1の実施形態と同様の効果が得られる。また、レジストが塗布された基板（ウェハ）に対して本発明のフォトマスクを介して斜入射露光を行なうときに、位相シフター（開口部）102を有するマスクエンハンサーは非常に強い遮光性を有するので、マスクエンハンサー以外の他の領域と対応するレジストのみに対して、現像工程で溶解するのに十分な露光エネルギーが照射される。さらに、マスクエンハンサーにより形成される遮光像のコントラストは非常に高いと共に該遮光像のデフォーカス特性は優れているため、DOFの高い微細パターン形成が可能となる。

【0151】

尚、第2の実施形態において、遮光部101と位相シフター102とからなるマスクエンハンサー構造のフォトマスクを用いたが、これに代えて、半遮光部と位相シフターとからなるマスクエンハンサー構造のフォトマスクを用いてもよい。

【0152】

また、第2の実施形態において、ポジ型レジストプロセスを用いたが、これに代えて、ネガ型レジストプロセスを用いても、同様の効果が得られる。

【0153】

また、第2の実施形態において、図13(c)に示す露光光を照射する工程では斜入射照明法（斜入射露光法）を用いることが好ましい。このようにすると、本発明のフォトマスクを透過した光の光強度分布において、マスクパターン及び透光部のそれぞれと対応する部分の間でのコントラストが向上する。また、光強度分布のフォーカス特性も向上する。従って、パターン形成における露光マージン及びフォーカスマージンが向上する。言い換えると、デフォーカス特性に優れた微細パターン形成が可能となる。さらには、フォトマスク上においてマスクエンハンサー構造を持つパターン同士が近接する場合にも、露光時における各パターンのコントラストが大きく向上する。

【0154】

ここで、斜入射露光用の光源とは、図14(a)に示すような通常露光用の光源に対して、垂直入射成分（光源からフォトマスクに対して垂直に入射する露光光の成分）が取り除かれた、図14(b)～(d)に示すような光源のことを意味する。代表的な斜入射露光用の光源としては、図14(b)に示す輪帯露光用の光源、及び図14(c)に示す四重極露光用の光源がある。目的のパターンに若干依存するが、一般に、輪帯露光用の光源よりも四重極露光用の光源の方がコントラストの強調又はDOFの拡大において効果的である。しかし、四重極露光においてはパターン形状がマスク形状に対して歪むなどの副作用もあるので、そのような場合には、図14(d)に示す輪帯-四重極混成型露光用の光源を用いることが望ましい。この輪帯-四重極混成型露光用の光源の特徴は、光源中心（通常露光光源の中心）を原点としてXY座標を想定したときに、光源中心とXY軸上の光源とが取り除かれていることによって四重極露光用の光源の特徴を有する点と、光源の外形として円形が採用されていることにより輪帯露光用の光源の特徴を有する点とである。

【0155】

（第3の実施形態）

以下、本発明の第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法、具体的には、第1の実施形態に係るフォトマスク（以下、本発明のフォトマスク）のマスクデータ作成方法について図面を参照しながら説明する。尚、本実施形態において、フォトマスクの各構成要素の機能及び性質等は、特に断らない限り、既述の本発明のフォトマスクにおける対応する構成要素と同じである。

【0156】

具体的な処理内容を説明する前に、本発明のフォトマスクのマスクデータ作成方法において重要なポイントについて説明する。マスクエンハンサー構造を有するマスクパターンを用いてパターン形成を行なう場合、1つの孤立パターンを形成するにあたっては、マスクエンハンサー構造における位相シフターの幅とそれを囲む遮光部又は半遮光部の幅とが関係してくる。そのため、形成されるパターンの寸法つまりCD（Critical Dimension）を所望の値にするために、前記の位相シフターの幅、及び遮光部又は半遮光部の幅等の複数の要素の値を決定する必要がある。また、多くの場合、所望のCDを実現する前記の要素の値の組み合わせは1つではなく複数存在する。そこで、本実施形態では、パターン形成におけるマージンを最大化するために重要となる要素を優先的に決定し、その後、パターン形成におけるマージンに与える影響が低い要素によりパターン寸法を調整する方法を採用する。

【0157】

すなわち、パターン形成におけるマージンに対する影響度の高い要素として、第1に、位相シフターの配置位置及び幅を決定し、その後、位相シフターを囲む遮光部又は半遮光部の幅、つまり位相シフターと透光部とに挟まれた領域の幅を調整することによって所望のCDを実現するマスクデータの作成を行なうことが好ましい。このようなマスクデータの作成を実施することによって、高精度なパターン寸法制御を達成しつつ、パターン形成におけるマージンの高いフォトマスクを実現できるマスクデータの作成が可能となる。以下、具体的な処理内容について説明する。

【0158】

図15は、第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法、具体的には、微細な所望のパ

ターンに基づき、マスク上で遮光パターンとなるLSI用マスクパターンを作成する方法のフロー図である。また、図16(a)～(f)は、第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法の各工程における具体的なマスクパターン作成例を示す図である。

【0159】

図16(a)は、マスクパターンによって形成しようとする所望のパターンを示している。すなわち、図16(a)に示すパターン600が、本発明のフォトマスクを用いた露光においてレジストを感光させたくない領域（所望の非感光領域）に相当するパターンである。尚、本実施形態でパターン形成について説明する場合、特に断らない限り、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なう。すなわち、現像により、レジストの感光部が除去され且つレジストの非感光部がレジストパターンとして残存することを想定して説明を行なう。従って、ネガ型レジストプロセスを使用する場合には、レジストの感光部がレジストパターンとして残存し且つレジストの非感光部が除去され则认为れば、基本的に本実施形態と同様である。

【0160】

まず、ステップS1において、図16(a)に示す所望のパターン600を、マスクデータ作成に用いるコンピュータに入力する。

【0161】

次に、ステップS2において、作成したフォトマスクを露光するときにオーバー露光にするか又はアンダー露光にするかに応じて、図16(a)に示す所望のパターンを拡大し又は縮小するリサイズを行なう。或いは、パターン形成以降における種々の工程、例えばドライエッチングやCMP等の工程で生じる寸法変化を考慮して、リソグラフィ工程段階での寸法を意図的に調整するためのリサイズを行なってもよい。図16(b)は、リサイズ後のパターン（遮光パターン）601を示している。

【0162】

次に、ステップS3において、図16(c)に示すように、パターン601における寸法（幅）が所定値以下である領域の中心部に位相シフトパターン602を生成する。すなわち、マスクエンハンサー構造における位相シフターの形状（配置位置及び幅等：以下同じ）を決定する。このとき、位相シフトパターン602がパターン601の内部つまり遮光パターンの内部に完全に含有されるようにする。尚、本実施形態では、簡単のため、パターン601は、複数の独立したライン状パターンから構成されているものとし、パターン601の幅とは線幅を意味するものとする（位相シフトパターン602の幅についても同様である）。

【0163】

位相シフトパターン602の幅については例えば次のように設定することができる。すなわち、少なくとも1つの所定寸法 W_0 を定め、パターン601における幅が W_0 以下である領域には所定寸法 F_0 ($W_0 > F_0$) の幅を有する位相シフトパターン602を配置する。また、好ましくは、少なくとも2つの所定寸法 W_0 及び W_1 ($W_0 > W_1$) を定め、パターン601における幅が W_1 よりも大きく且つ W_0 以下である領域には所定寸法 F_0 の幅を有する位相シフトパターン602を配置すると共に、パターン601における幅が W_1 以下である領域には所定寸法 F_1 ($F_1 > F_0$) の幅を有する位相シフトパターン602を配置する。さらに、3つ以上の所定寸法 ($W_0, W_1, W_2 \cdots : W_0 > W_1 > W_2 \cdots$) を定め、パターン601における幅が W_0 以下である領域においては、その幅が細くなるほど太い位相シフトパターンを設ける方法（言い換えると、マスクパターン幅が太くなるほど細い位相シフトパターンを設ける方法）がより好ましいことはマスクエンハンサーの原理から言うまでもない。

【0164】

次に、ステップS4において、図16(d)に示すように、パターン601を構成する各ライン状パターンの近接関係に基づいて、位相シフトパターン602の幅を調整する。具体的には、一のライン状パターンと透光部（本実施形態ではパターン601の存在しない領域）を挟んで近接する他のライン状パターンから一のライン状パターンまでの距離に

基づき、一のライン状パターンに配置される位相シフトパターン602の幅を調整する。尚、図16(d)において、位相シフトパターン603は、寸法調整された位相シフトパターンである。

【0165】

位相シフトパターン幅の具体的な調整方法例は次の通りである。少なくとも1つの所定寸法 S_0 を定め、調整対象の位相シフトパターンが配置されるライン状パターン（対象パターン）が S_0 以下の距離で他のライン状パターン（他のパターン）と近接していない場合における位相シフトパターン幅を F_0A とすると共に、対象パターンが S_0 以下の距離で他のパターンと近接する場合における位相シフトパターン幅を F_0B （ $F_0A > F_0B$ ）とする。また、好ましくは、少なくとも2つ所定寸法 S_0 及び S_1 （ $S_0 > S_1$ ）を定め、対象パターンが S_0 以下の距離で他のパターンと近接していない場合における位相シフトパターン幅を F_0A とし、対象パターンが S_1 よりも大きく且つ S_0 以下の距離で他のパターンと近接する場合における位相シフトパターン幅を F_0B とし、対象パターンが S_1 以下の距離で他のパターンと近接する場合における位相シフトパターン幅を F_0C （ $F_0B > F_0C$ ）とする。さらに、3つ以上の所定寸法（ $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$ ）（ $S_0 > S_1 > S_2 > \dots$ ）を定め、対象パターンと他のパターンとの間隔が小さくなるに従って、位相シフトパターン幅を小さくする方法がより好ましいことは第1の実施形態の説明から言うまでもない。

【0166】

また、前述の位相シフトパターン幅の調整方法に加えて、対象パターンに近接する他のパターンが単純な遮光パターンであるか又は位相シフトパターンが配置されるマスクエンハンサー構造のパターンであるかに応じて、以下のような位相シフトパターン幅の調整を行なうことが好ましい。すなわち、位相シフトパターンが配置される対象パターン、つまり着目しているパターンに近接している他のパターンにも位相シフトパターンが配置されるか否かは、該他のパターンの幅に基づいて判断することができる。よって、近接する他のパターンの幅が所定寸法 W_0 よりも大きい場合（つまり他のパターンに位相シフトパターンを配置しない場合）における対象パターンに配置する位相シフトパターンの幅を F_0B とし、近接する他のパターンの幅が所定寸法 W_0 以下の場合（つまり他のパターンに位相シフトパターンを配置する場合）における対象パターンに配置する位相シフトパターンの幅を F_0M （ $F_0B > F_0M$ ）とする。

【0167】

さらに、対象パターンの両側にそれぞれ他のパターンが近接する場合には、次のように位相シフトパターン幅の調整を行なうことが好ましい。すなわち、対象パターンの両側に近接する各他のパターンのそれぞれから対象パターンまでの距離 S_1 及び S_2 を求め、 $(S_1 + S_2) / 2$ が所定の値以下となる場合における位相シフトパターン幅を、 $(S_1 + S_2) / 2$ が前記の所定の値よりも大きくなる場合における位相シフトパターン幅よりも小さく設定する。或いは、位相シフトパターン幅の調整における対象パターンと各他のパターンとの間隔の評価において、対象パターンの両側における各他のパターンとの間隔を平均化することが好ましいことを考慮して、前述の調整方法に代えて、次のような調整方法を用いてもよい。すなわち、例えば、対象パターンの左側における他のパターンとの間隔が S_1 であり、対象パターンの右側における他のパターンとの間隔が S_2 である場合における、対象パターンに設ける位相シフトパターンの幅を F とする。また、対象パターンの左右両側における各他のパターンとの間隔が共に S_1 である場合における、対象パターンに設ける位相シフトパターンの幅 F_1 とし、対象パターンの左右両側における各他のパターンとの間隔が共に S_2 である場合における、対象パターンに設ける位相シフトパターンの幅 F_2 とする。このとき、 $F = (F_1 + F_2) / 2$ となるように位相シフトパターン幅を調整することが好ましい。さらに、前述の平均化において S_1 又は S_2 が所定寸法 S_0 以上である場合には、当該 S_1 又は S_2 を S_0 とみなして前述の平均化を行なうことが好ましい。

【0168】

以上に説明したステップS3及びS4の処理により、パターン形成におけるマージンに対する影響の大きい位相シフターの配置位置及び幅が最適なものとなるように決定されることになる。

【0169】

次に、ステップS5において、ステップS4までに決定された位相シフトパターン603の形状に基づいて、図16(e)に示すように、パターン(遮光パターン)601における位相シフトパターン603を除く部分である遮光部パターン604を定義する。続いて、本実施形態のマスクデータ作成方法を用いて作製されるフォトマスク(本発明のフォトマスク)に対して露光を行なうときに、マスクパターンと対応して所望の寸法を持つパターンが形成されるようにマスクパターンの寸法調整を行なう処理の準備を行なう。すなわち、通常OPC(Optical Proximity Correction)処理と呼ばれる処理の準備を行なう。本実施形態では、パターン形成時の寸法(レジストパターンの寸法)つまりCDを予測して該結果に基づきマスクパターンの寸法調整を行なう際に、遮光部と透光部との境界のみを移動させる。そのため、ステップS5において、遮光部パターン604における透光部との境界となるエッジをCD調整用エッジ605に設定する。これにより、位相シフトパターン603が配置されたパターン領域においては、位相シフトパターン603と透光部とに挟まれた遮光部パターン604の幅によってCDを調整することが可能となる。よって、パターン間の近接関係に応じて幅を調整された位相シフトパターン603を変形することなく、所望のCDを実現できるマスクパターンの作成が可能となる。尚、遮光部パターン604に代えて半遮光部パターンを配置してもよいことは言うまでもない。

【0170】

次に、ステップS6において、マスクパターンに配置される位相シフトパターン603の透過率つまり位相シフターの透過率を設定する。

【0171】

次に、ステップS7、ステップS8及びステップS9において、OPC処理(例えばモデルベースOPC処理)を行なう。具体的には、ステップS7において、光学原理及びレジスト現像特性を考慮したシミュレーションによって、遮光部パターン604と位相シフトパターン603とが配置されたパターンによって露光時に形成されるレジストパターンの寸法を予測する。このとき、シミュレーションにおいて、リソグラフィ工程のみではなく、パターン形成に係わる他の工程、例えばドライエッチング等を考慮してもよい。続いて、ステップS8において、予測されたレジストパターンの寸法が所望の寸法と一致しているかどうかを調べる。所望の寸法と一致していない場合、ステップS9において、レジストパターンの予測寸法と所望の寸法との差に基づきCD調整用エッジ605を移動させ、それによって遮光部パターン604の変形つまりマスクパターンの変形を行なう。

【0172】

尚、本実施形態では、予め位相シフトパターンを生成しているため、ステップS3及びS4で位相シフトパターンの幅を不適切に設定してしまっている場合、ステップS7～S9で所望のCDを得ることができない。このような場合、その不適切な位相シフトパターン幅を修正してもよい。尚、不適切な位相シフターとは、位相シフターを囲む遮光部の幅が0となっても、予測されるCDが所望のCDよりも太くなってしまうような位相シフターのことである。このため、不適切な位相シフターを生成している場合、所望のCDを得るためには位相シフター幅を細くする以外に方法がない。よって、ステップS3及びS4で生成する位相シフトパターンについては、その周辺に遮光部が存在しない場合でも、予測されるCDが所望のCDを超えないような線幅に設定しておくことが好ましい。このように位相シフトパターンを生成しておけば、ステップS7～S9を行なう段階で位相シフトパターンの修正を行なう必要がなくなる。ここで、マスクパターンを位相シフターのみから構成した場合において予測されるCDが所望CDを超えない最大の位相シフター幅を、CD値に対する最大位相シフター幅と呼ぶことにする。すなわち、ステップS3及びS4で生成する位相シフトパターンの幅は、CD値に対する最大位相シフター幅を越えないように設定されていることが好ましい。尚、CD値に対する最大位相シフター幅は、位相

シフターの透過率及び露光条件が決まればシミュレーション等により容易に求めることができる。

【0173】

以上のように、本実施形態の特徴は、ステップS4までに決定された位相シフトパターン603に対して、ステップS5で設定されたCD調整用エッジ605のみを変化させることにより、所望の寸法を持つレジストパターンを形成できるマスクパターンを実現することである。すなわち、ステップS7～S9を、レジストパターンの予測寸法と所望の寸法とが一致するまで繰り返すことにより、最終的に、ステップS10において、所望の寸法を持つレジストパターンを形成できるマスクパターンを出力する。図16(f)は、ステップS10で出力されたマスクパターンの一例を示している。図16(f)に示すように、透過性基板100上における遮光部パターン604に対応する領域には、Cr膜等よりなる遮光部101が形成されている。また、透過性基板100上における位相シフトパターン603に対応する領域には、例えば透過性基板100が掘り下げられてなる位相シフター102が形成されている。

【0174】

尚、図16(f)において、遮光部101と位相シフター102とからなるマスクエンハンサー構造を持つライン状パターンの端部610が、幅太のハンマー形状を有しているが、これは、該ライン端部610と対応するレジストパターンの後退を防止するためのものである。また、このようなハンマー形状のライン端部においては、その線幅が所定値を超えるような場合であっても、その中央部に、遮光性を向上させるための位相シフターが配置されていてもよい。なぜなら、通常のラインパターンにおいては、その両側2方向（ライン方向に対して垂直な方向）の透光部から光が回り込んでくるのに対して、ライン端部においては、前述の2方向の透光部に加えてライン端側の透光部からも、つまり3方向から光が回り込んでくるため、所定値を超える幅を持つ場合にも位相シフターを配置することが可能になるからである。

【0175】

以上に説明したように、第3の実施形態によると、コントラスト等の重要なパターン形成特性が優れたマスクを実現するために、まず、重要なパラメータである位相シフトパターンの幅及び配置位置を決定する。その後、CD調整用エッジ605として設定された、パターン601の最外エッジのみを移動させてパターン寸法制御を行なう。このため、一旦決定した位相シフトパターン幅等を変更することなく、言い換えると、優れたパターン形成特性が発揮される条件を保ちながら、微細な所望のパターンを形成できるマスクパターンを実現できる。すなわち、微細な所望のパターンを形成でき且つ優れたパターン形成特性を持つマスクパターンを実現できる。

【0176】

また、第3の実施形態によると、近接する他のパターンから、マスクエンハンサー構造を有するパターン（対象パターン）までの距離に基づいて、マスクエンハンサー構造の位相シフターの幅を調整する。具体的には、他のパターンとの間の距離が小さくなるに従って位相シフター幅を小さくする。このため、他のパターンの存在によって、対象パターンの周辺の透光部から対象パターンの裏側に回り込んでくる光（透光部と同位相の光）が減少する程度に応じて、対象パターンの内部（位相シフター）を透過する光（透光部と反対位相の光）を減少させることができる。従って、対象パターンの遮光性を十分に向上させることができるため、露光マージンが向上すると共に、露光により形成される光強度分布のコントラストが向上する。すなわち、孤立パターンのみではなく、パターン同士が互いに近接するような複雑なパターンが存在するフォトマスクにおいても、優れたパターン形成特性を実現することができる。また、マスクエンハンサー構造における位相シフター幅を各パターン間の近接関係に応じて最適化することができるので、ランダムなパターン配置の微細パターンの形成を可能とするフォトマスクを実現できる。

【0177】

尚、第3の実施形態において、遮光部を用いたマスクエンハンサー構造を持つマスクパ

ターンを対象として説明を行なったが、これに代えて、半遮光部を用いたマスクエンハンサー構造を持つマスクパターンを対象としてもよい。具体的には、本実施形態でマスクエンハンサー構造の遮光部として説明をしている箇所を全て半遮光部に置き換えてもよい。

【0178】

また、第1～第3の実施形態において、透過型のフォトマスクを想定して説明してきた。しかし、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば透過率を反射率と読み替える等して、露光光の透過現象を全て反射現象に置き換えて考えれば、反射型マスクについても本発明は成り立つものである。

【産業上の利用可能性】

【0179】

以上に説明したように、本発明は、フォトマスク、そのフォトマスクを用いたパターン形成方法及びマスクデータ作成方法に関し、半導体集積回路装置等の製造に用いられる微細パターン形成に適用する場合等に特に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0180】

【図1】 (a) は本発明のマスクエンハンサーを用いたフォトマスクの平面図であり、(b) 及び (c) はそれぞれ (a) における I-I 線の断面図である。

【図2】 (a) は本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(b) は (a) における II-II 線の断面図である。

【図3】 マスクエンハンサー構造において半遮光部を用いた、本発明の第1の実施形態に係るフォトマスクの平面図である。

【図4】 (a) は本発明のマスクエンハンサー構造を持つパターンの一例を示す図であり、(b) は、(a) に示すパターンにおけるパターン幅 L と位相シフター幅 F との種々の組み合わせに対する露光マージンをシミュレーションし、その結果をプロットした等高線グラフである。

【図5】 (a) は本発明のマスクエンハンサー構造を持ち且つ密集パターンを構成するパターンの一例を示す図であり、(b) は、露光時にウェハ上における (a) の線分 BB' と対応する位置に形成される光強度分布を示す図である。

【図6】 (a) 及び (b) は、図5 (b) の光強度 I_c の位相シフター幅 F に対する依存性をシミュレーションした結果を示す図である。

【図7】 図5 (a) に示すマスクパターンを用いて、幅 70 nm のパターンの形成を行なう際の露光マージンをシミュレーションし、その結果に基づいて、パターン間の近接間隔 S を変化させた場合における露光マージンが最大となるときの位相シフターの幅 F_{opt} をプロットしたグラフである。

【図8】 (a) は本発明のマスクエンハンサー構造を持ち、且つマスクエンハンサー構造を持つ他のパターンと共に密集パターンを構成するパターンの一例を示す図であり、(b) は、(b) は、(a) に示すマスクパターンを用いて、幅 70 nm のパターンの形成を行なう際の露光マージンをシミュレーションし、その結果に基づいて、パターン間の近接間隔 S を変化させた場合における露光マージンが最大となるときの位相シフターの幅 F_{opt} をプロットしたグラフである。

【図9】 本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの平面図である。

【図10】 マスクエンハンサー構造において半遮光部を用いた、本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの平面図である。

【図11】 (a) ～ (d) は、本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクにおける各パターンが不規則な間隔で並んだ密集パターンを、それと等価な、各パターンが等間隔に並んだ密集パターンに換算する方法を説明するための図である。

【図12】 本発明の第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの平面図である。

【図13】 (a) ～ (d) は本発明の第2の実施形態に係るパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図14】(a)は通常露光用の光源を示す図であり、(b)は輪帯露光用の光源を示す図であり、(c)は四重極露光用の光源を示す図であり、(d)は輪帯-四重極混成型露光用の光源を示す図である。

【図15】本発明の第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法のフロー図である。

【図16】(a)～(f)は、本発明の第3の実施形態に係るマスクデータ作成方法の各工程における具体的なマスクパターン作成例を示す図である。

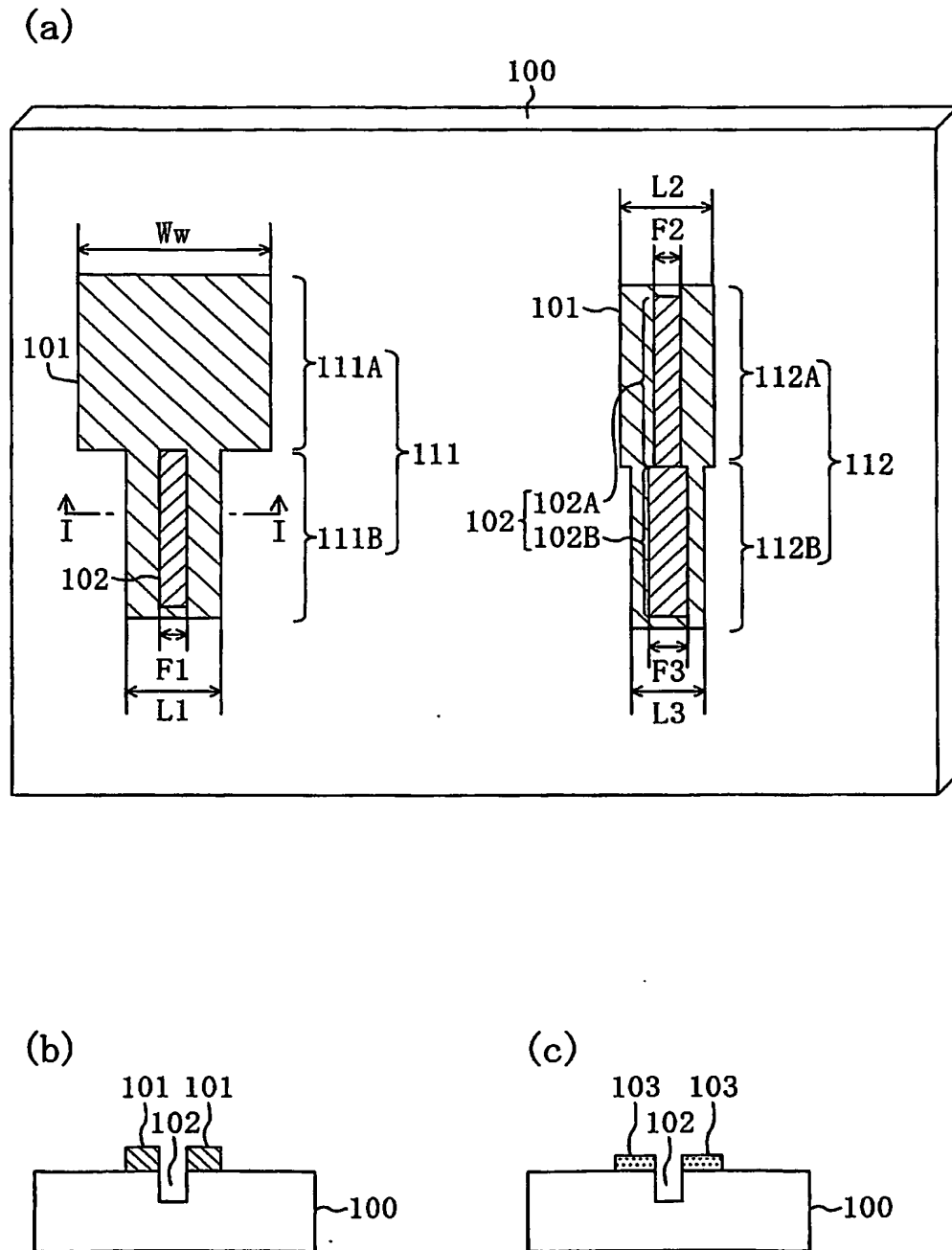
【図17】(a)～(e)は、本願発明者により見出されたマスクエンハンサー構造によるコントラスト強調効果を説明するための図である。

【符号の説明】

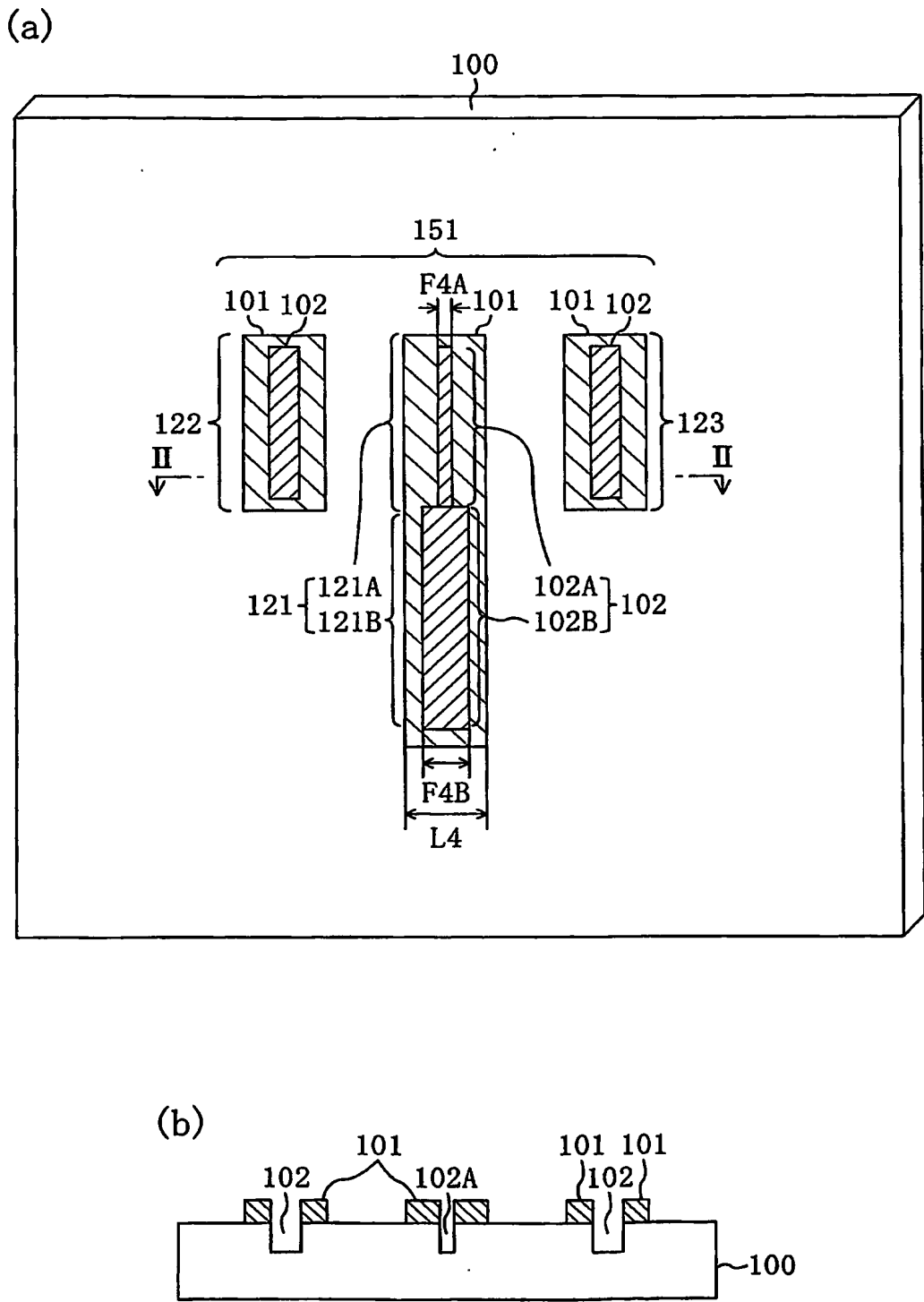
【0181】

100	透過性基板
101	遮光部
102、102A、102B	位相シフター
103	半遮光部
111、112	パターン
111A、111B、112A、112B	部分パターン
121～128	ラインパターン
121A、121B、124A、124B	部分パターン
131～135	ラインパターン
131A、131B	部分パターン
151～153、161～164	密集パターン
310	マスクエンハンサー構造のパターン
310A	遮光部
310B	位相シフター
311、312	遮光パターン
320～322	マスクエンハンサー構造のパターン
320A、321A、322A	遮光部
320B、321B、322B	位相シフター
331～333、341～342	マスクエンハンサー構造のパターン
351～353、361～362	マスクエンハンサー構造のパターン
500	基板
501	被加工膜
502	レジスト膜
502a	潜像部分
503	露光光
504	透過光
505	レジストパターン
600	所望のパターン
601	リサイズ後のパターン
602	位相シフトパターン
603	寸法調整された位相シフトパターン
604	遮光部パターン
605	CD調整用エッジ
610	ライン端部

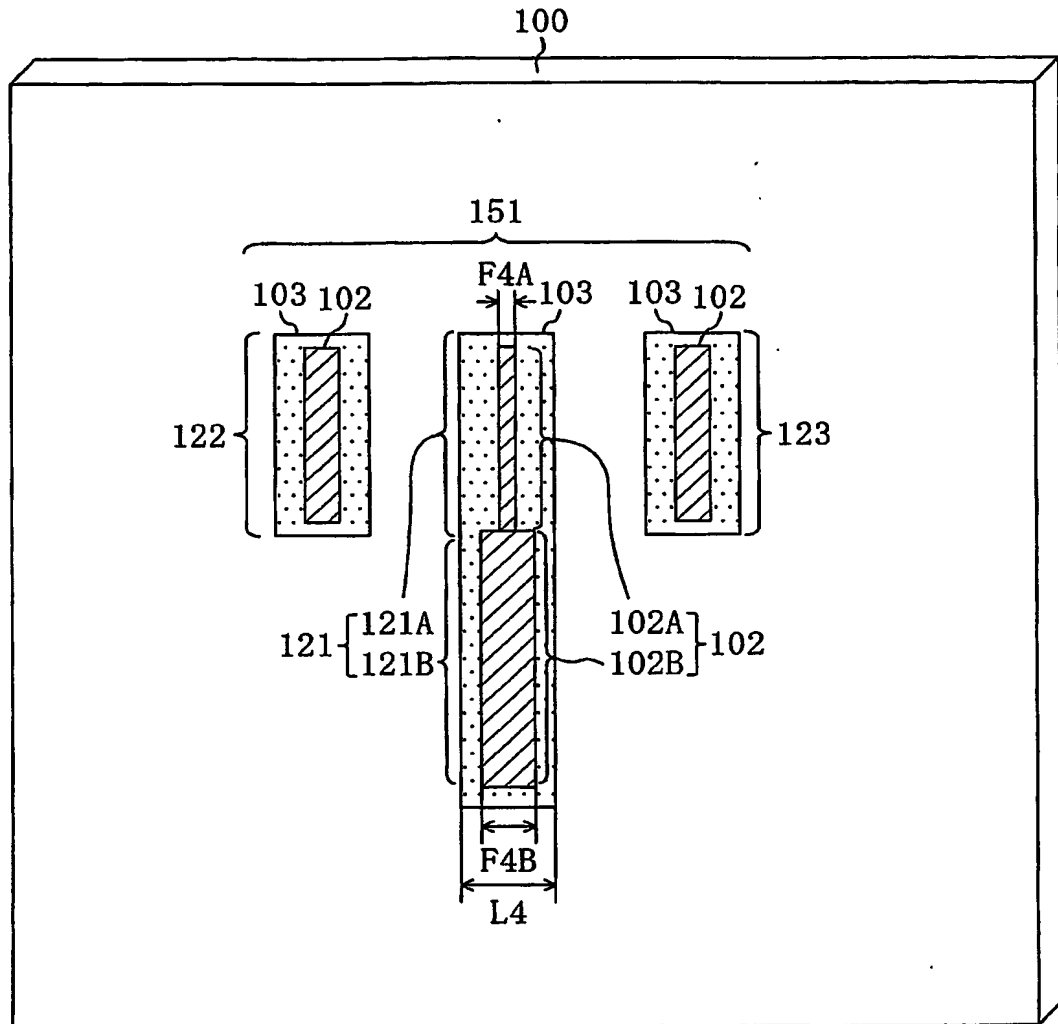
【書類名】 図面
【図 1】



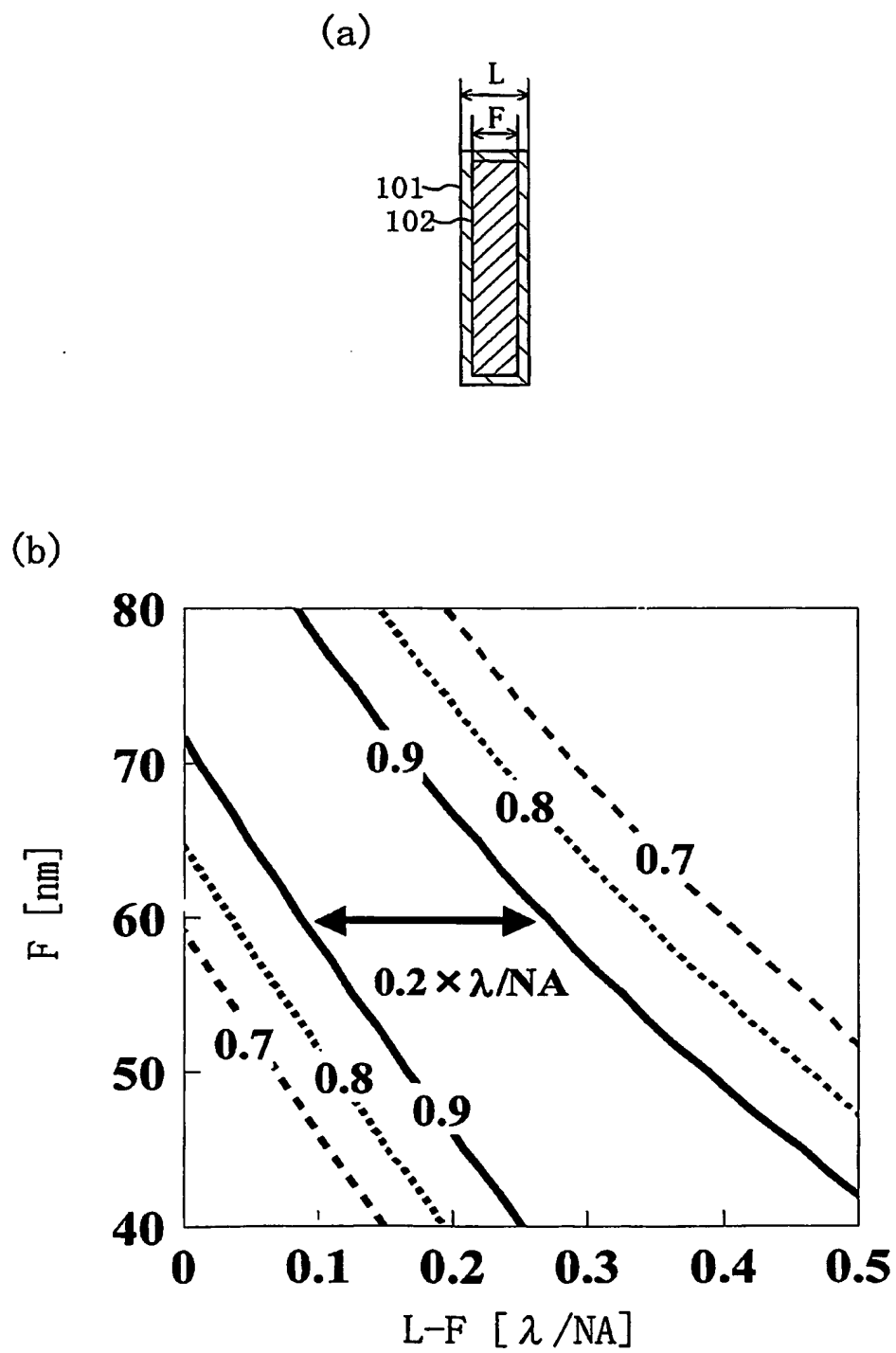
【図 2】



【図 3】

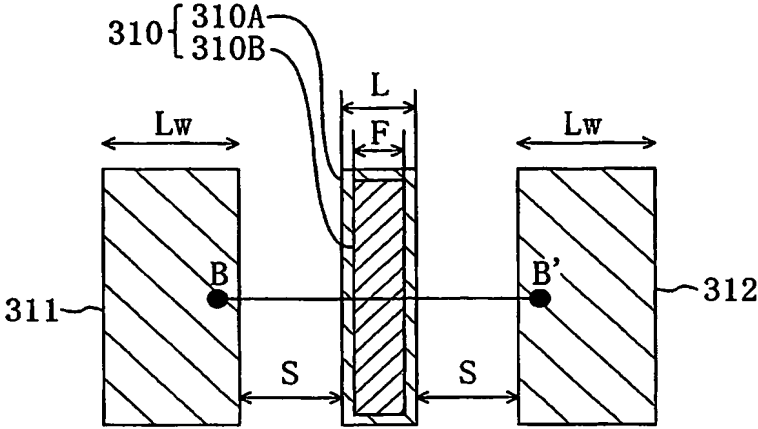


【図 4】

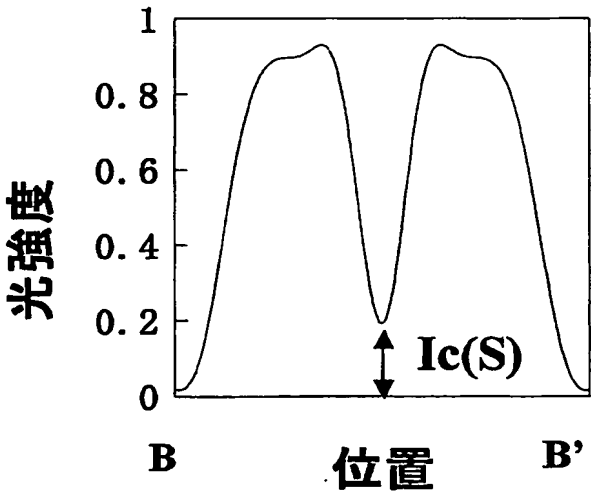


【図 5】

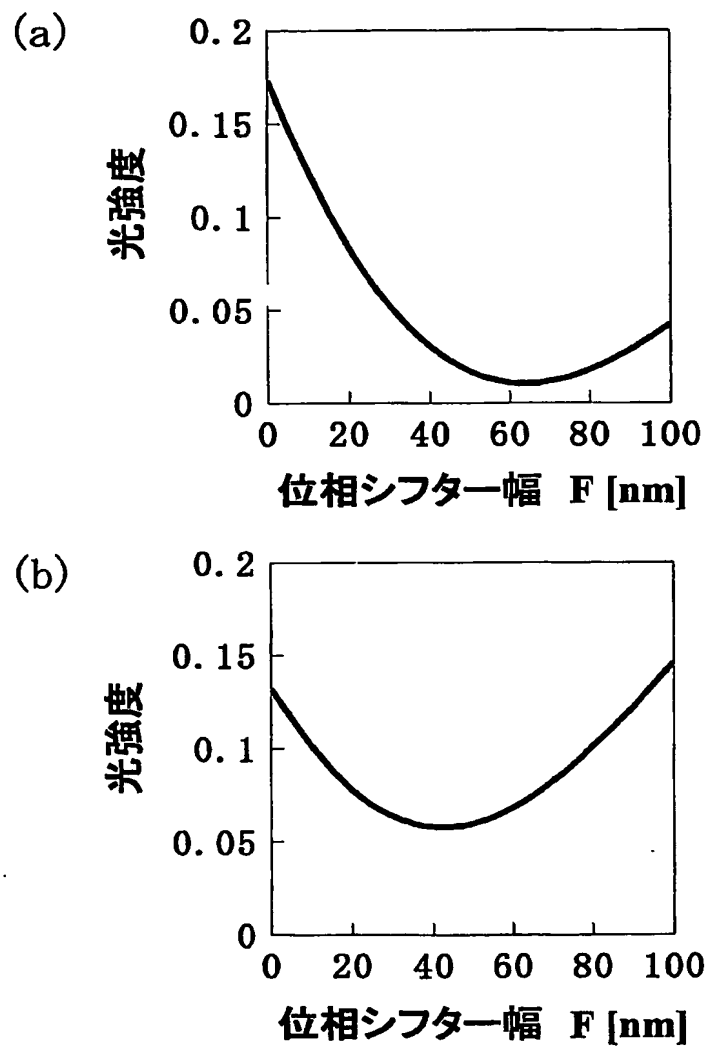
(a)



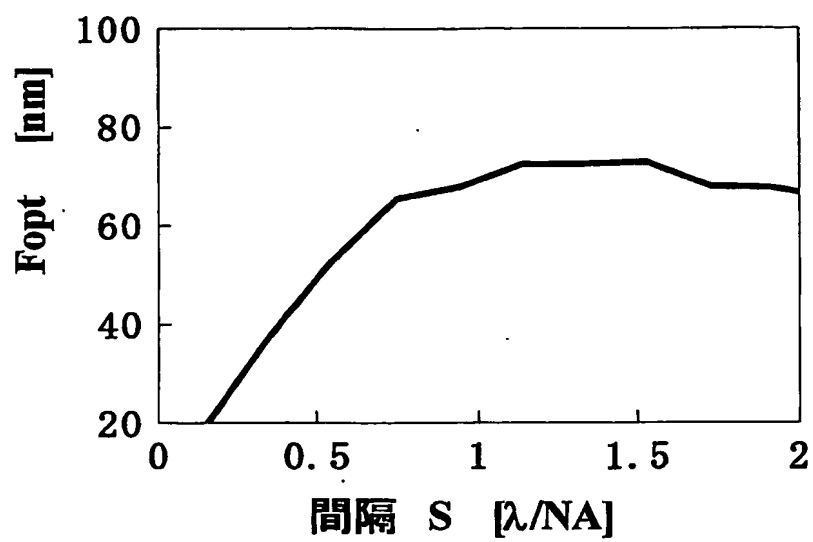
(b)



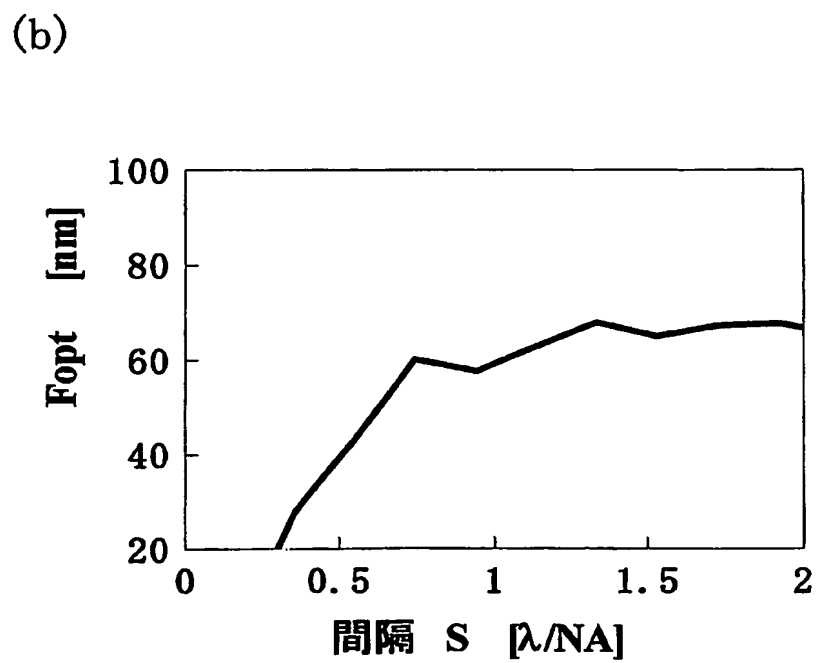
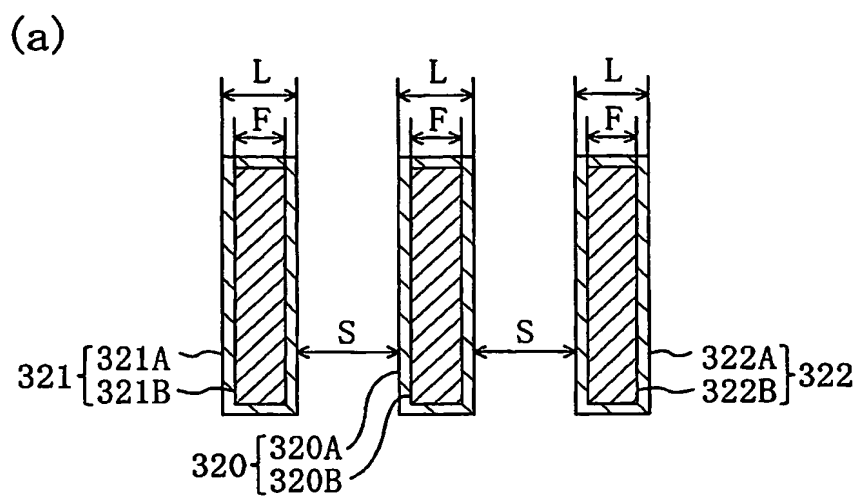
【図 6】



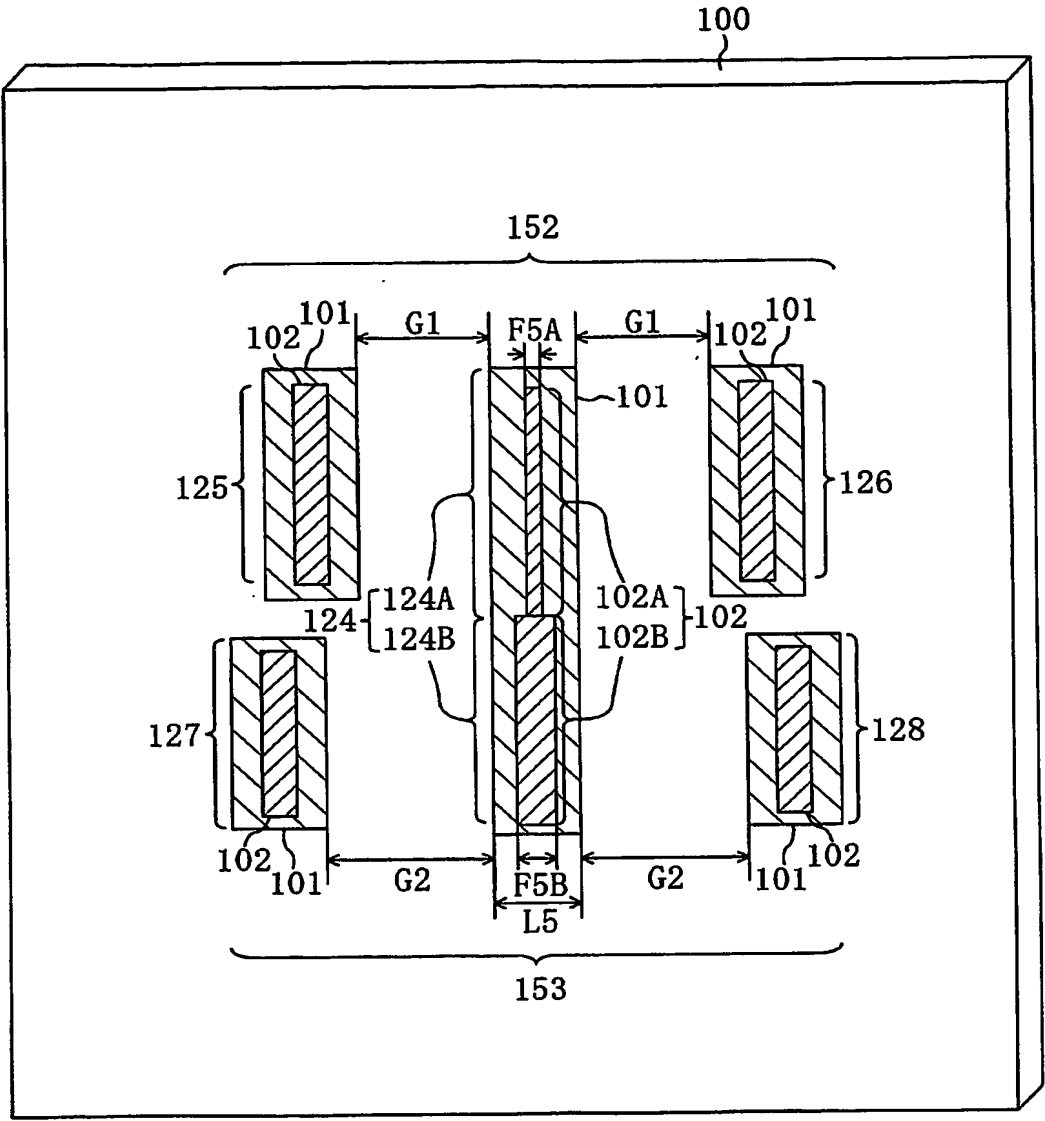
【図 7】



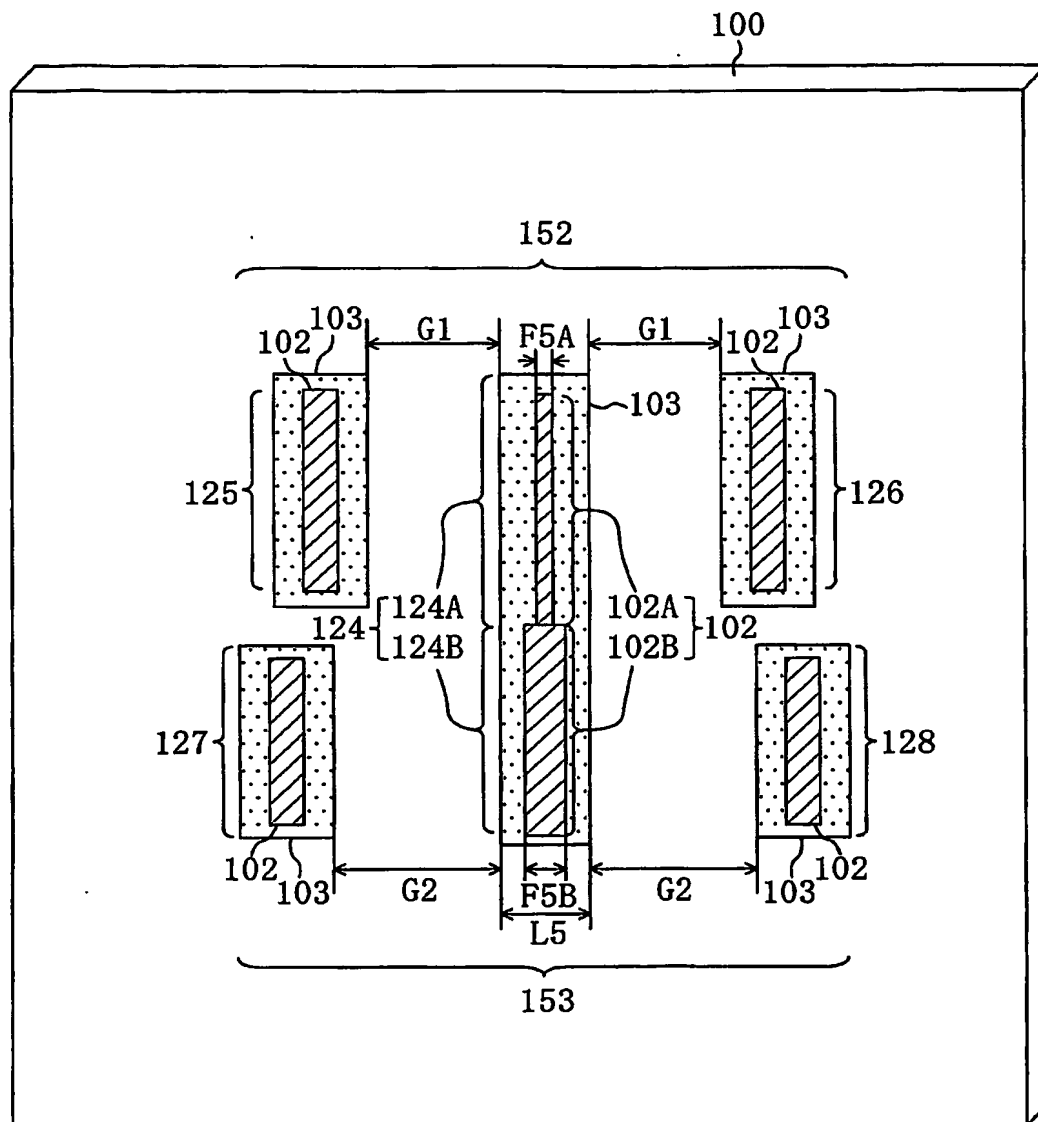
【図 8】



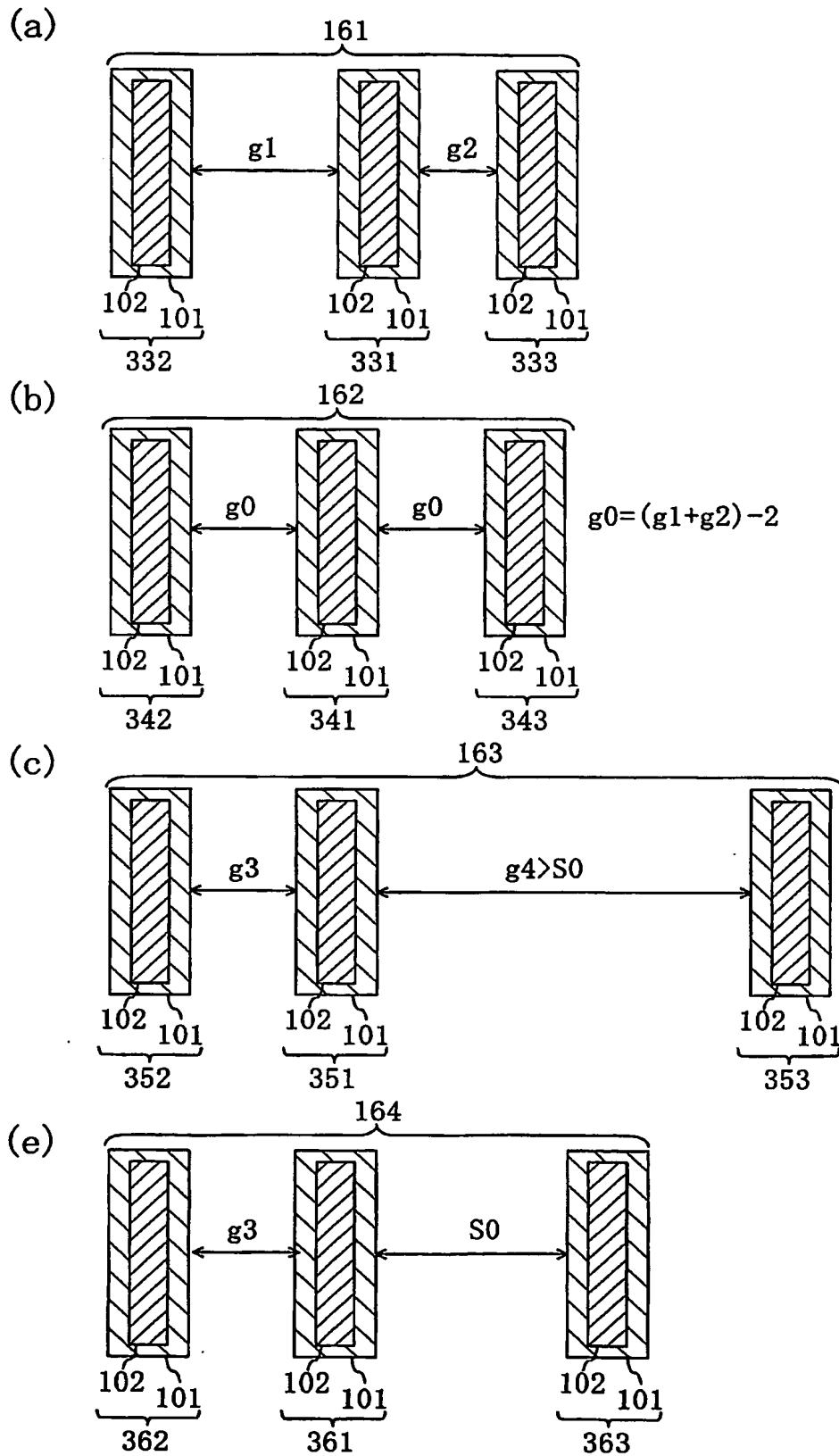
【図 9】



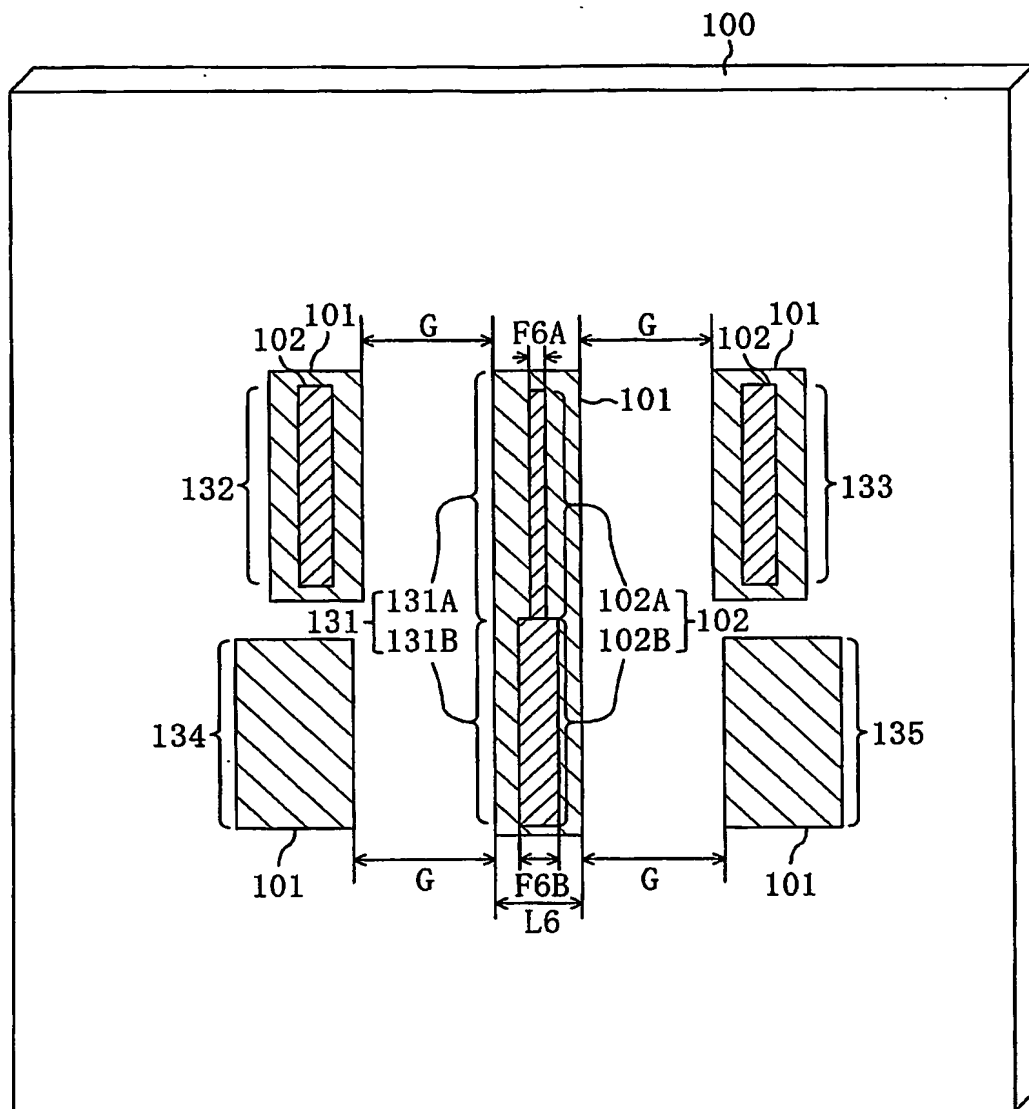
【図 10】



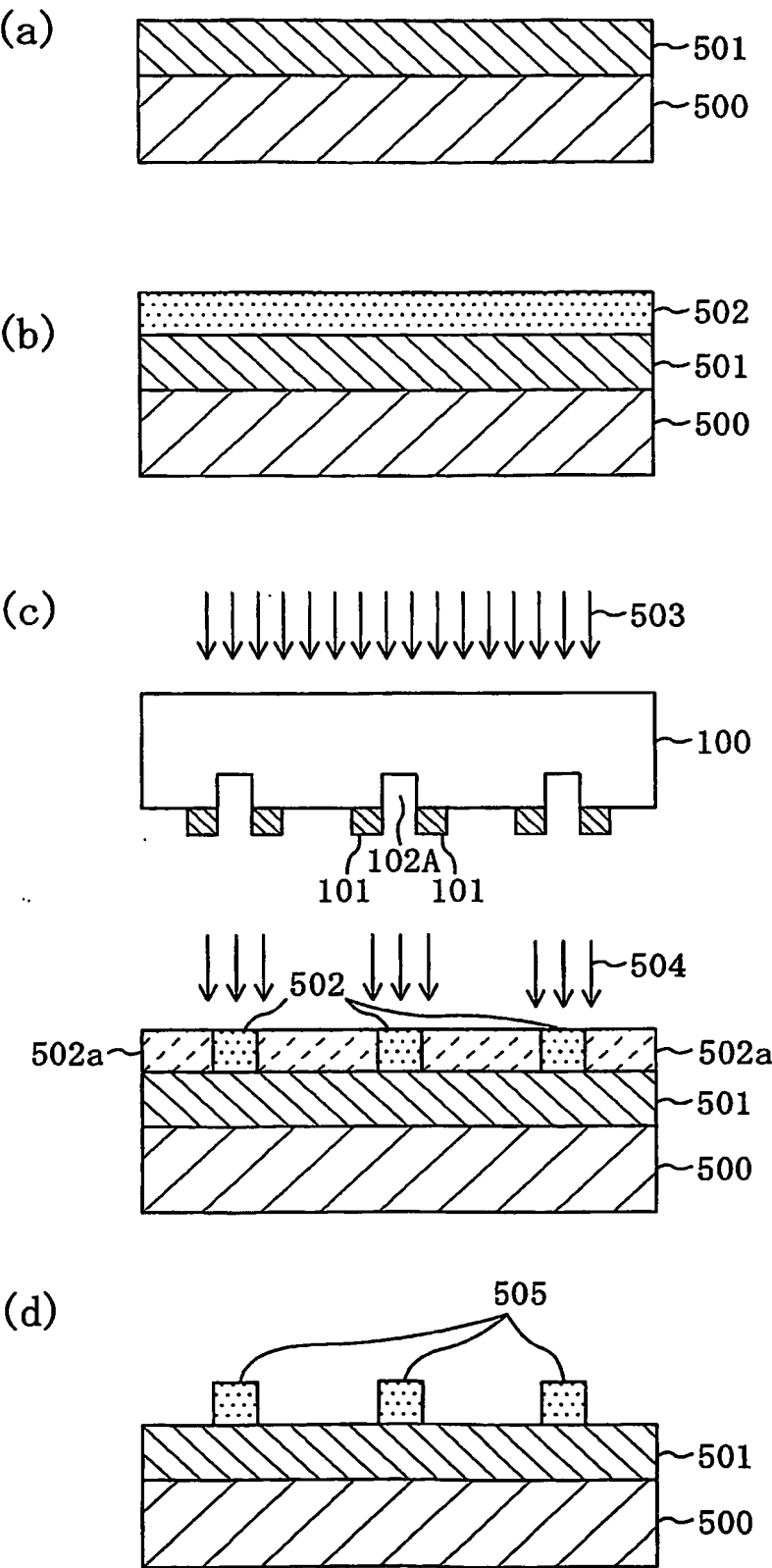
【図 11】



【図 12】

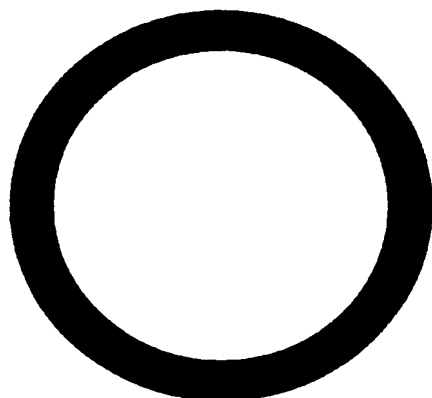


【図 13】

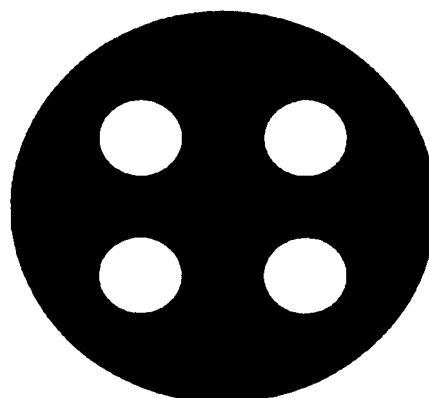


【図 14】

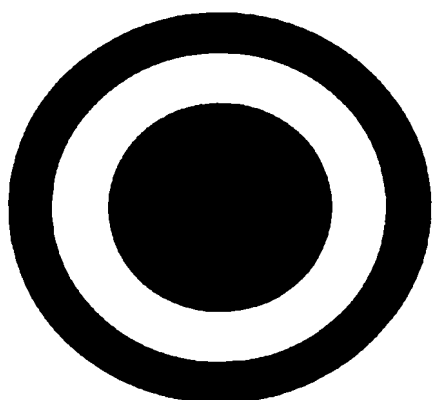
(a) 通常露光光源



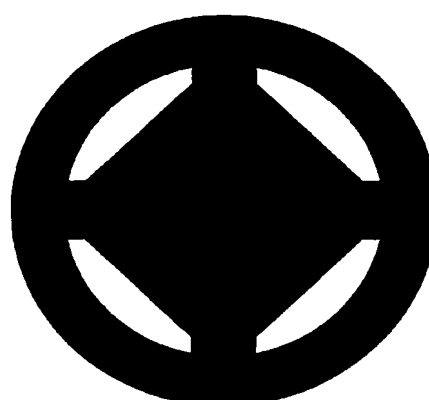
(c) 四重極露光光源



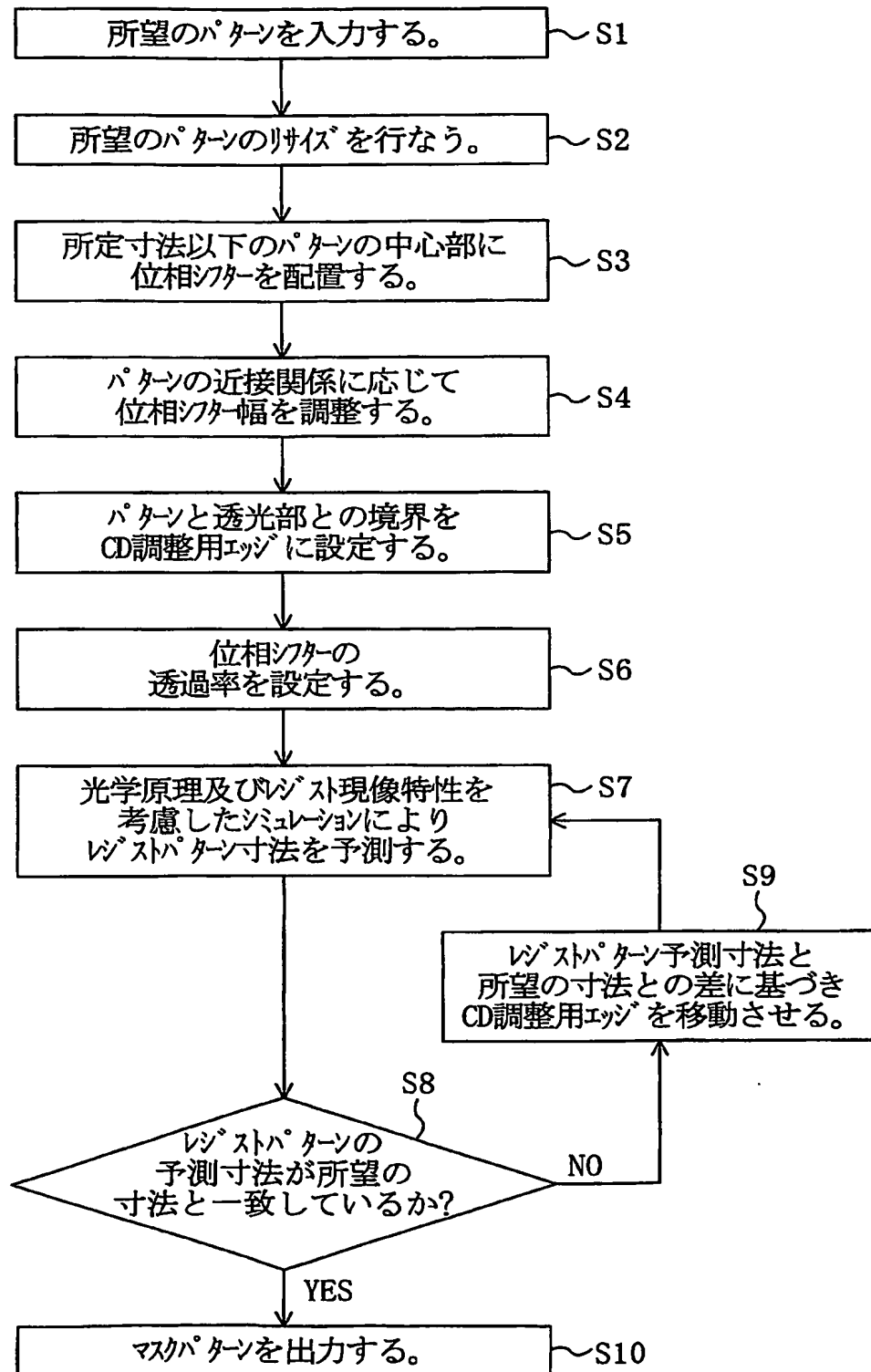
(b) 輪帯露光光源



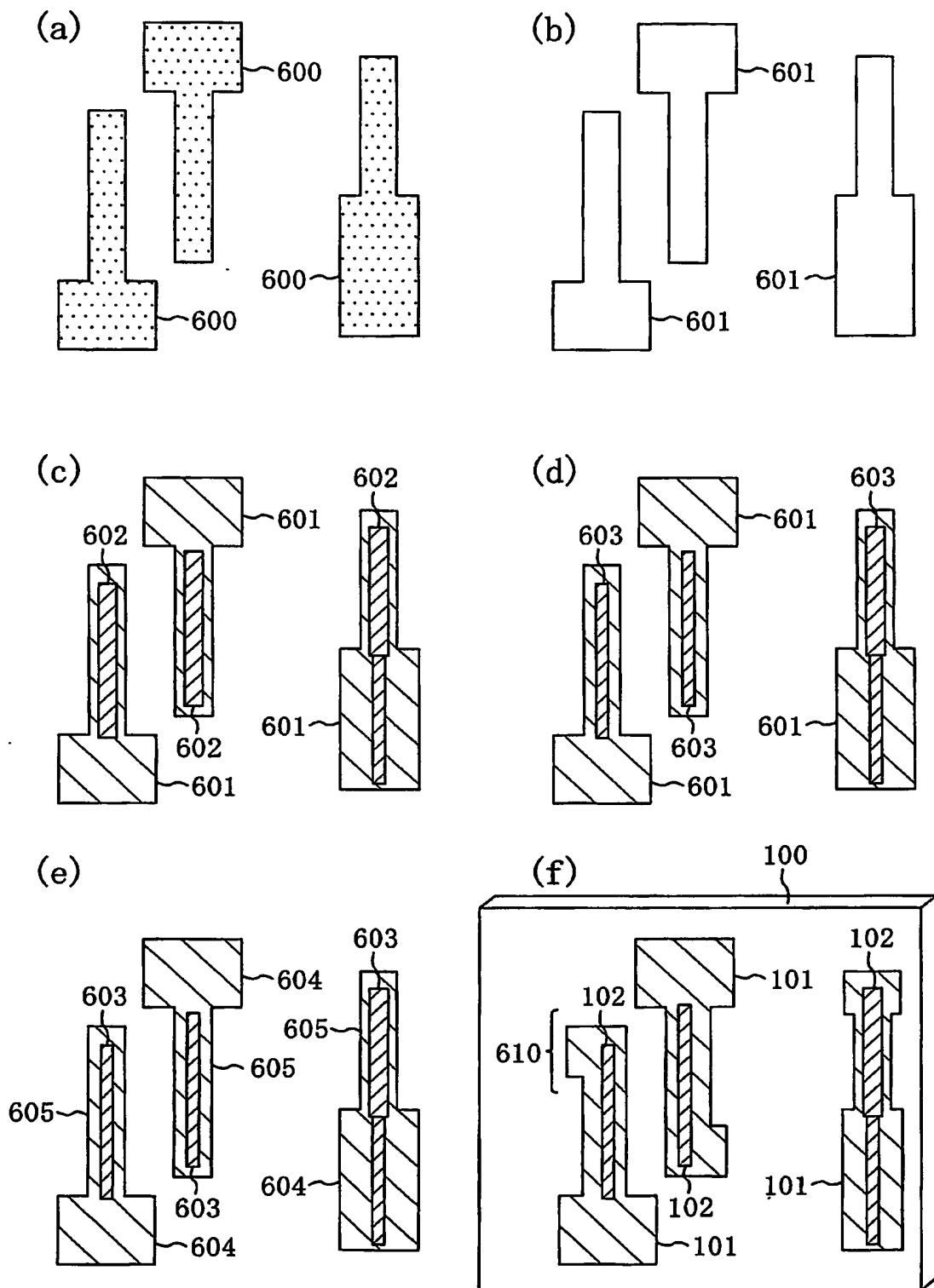
(d) 輪帯一四重極混成型
露光光源



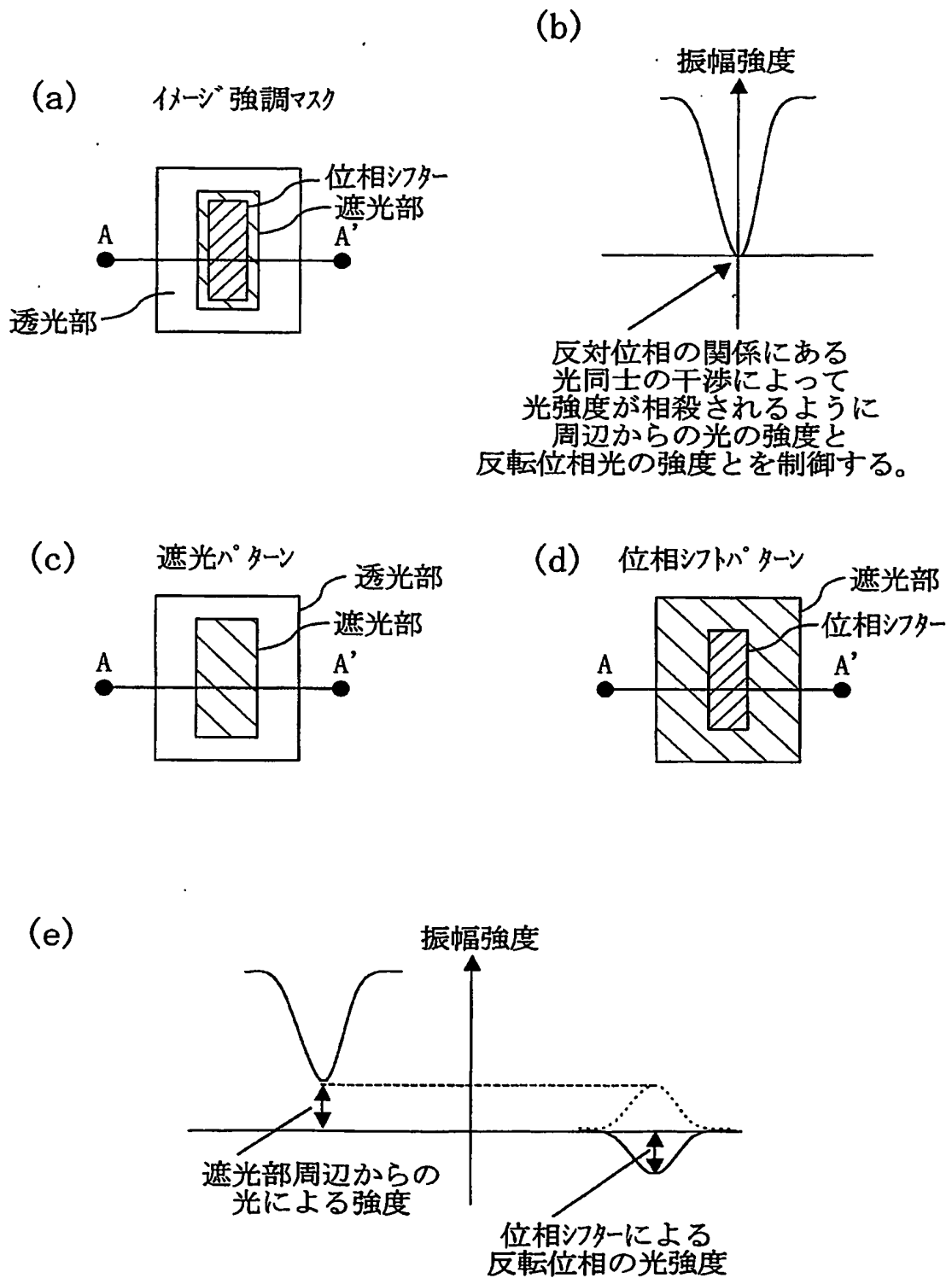
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 任意のパターン配置が混在した複雑なパターンを有するフォトマスクにマスクエンハンサー構造を適用する場合にも、プロセスマージンを十分に向上させる。

【解決手段】 マスクパターンとして透過性基板 100 上に設けられたパターン 121 は部分パターン 121A 及び 121B を有する。部分パターン 121A 及 121B はそれぞれ、透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフター 102 と該位相シフター 102 を囲む遮光部 101 とからなるマスクエンハンサー構造を持つ。部分パターン 121A は、他のパターン 122 及び 123 と共に密集パターン 151 を形成する一方、部分パターン 121B は孤立している。部分パターン 121A の位相シフター 102A の幅は、部分パターン 121B の位相シフター 102B の幅よりも小さい。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 3 - 3 6 2 7 1 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社